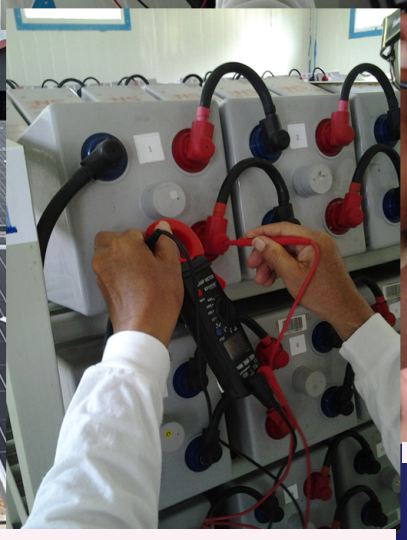
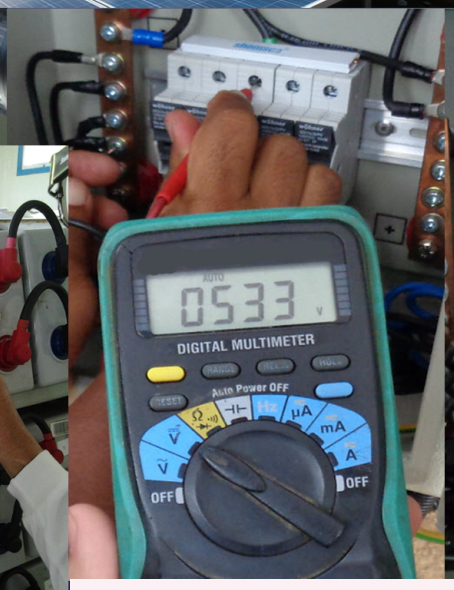
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
REPUBLIK INDONESIA

DIREKTORAT JENDERAL ENERGI BARU, TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI

PANDUAN

PENGOPERASIAN DAN PEMELIHARAAN PLTS OFF-GRID

2017

SAMBUTAN

DIREKTUR JENDERAL ENERGI BARU TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI

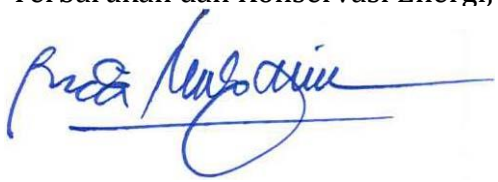
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* yang menggunakan teknologi fotovoltaik adalah salah satu bentuk aplikasi pengembangan energi terbarukan di Indonesia yang bertujuan untuk memberikan akses energi listrik di desa-desa yang belum berlistrik di daerah pedalaman, kawasan perbatasan dan pulau-pulau kecil terluar, sekaligus meningkatkan kemandirian dan ketahanan energi nasional.

Salah satu tujuan kemandirian dan ketahanan energi nasional dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) adalah tercapainya pengelolaan sumber daya energi yang optimal, terpadu, dan berkelanjutan. Untuk mendukung tujuan tersebut, aspek pengoperasian dan pemeliharaan suatu pembangkit menjadi sangat penting dalam rangka menjaga keberlangsungan dan kesinambungan penyediaan tenaga listrik dari suatu PLTS sehingga manfaatnya dapat terus dinikmati. Untuk mewujudkan hal tersebut, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) menyusun buku Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS *off-grid*. Panduan ini berisi gambaran umum dan penjelasan tentang metode pengoperasian, metode pemeliharaan, penanganan gangguan hingga mekanisme pencatatan pengoperasian dan pemeliharaan dari suatu PLTS *off-grid*.

Kami berharap semoga Buku Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS *off-grid* ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang berpartisipasi dalam pengembangan PLTS *off-grid* di Indonesia.

Jakarta, Desember 2017

Direktur Jenderal Energi Baru,
Terbarukan dan Konservasi Energi,



Rida Mulyana

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa bahwa Buku Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS o*ff-grid* ini telah selesai disusun.

Buku panduan ini dimaksudkan untuk memberikan pegangan/acuan dalam pengoperasian dan pemeliharaan PLTS o*ff-grid* di lapangan agar dapat beroperasi secara berkelanjutan, khususnya dalam hal aspek teknis. Teknologi PLTS yang dibahas dalam buku panduan ini dibatasi pada PLTS yang menggunakan teknologi fotovoltaik.

Semoga dengan adanya buku ini, keberlangsungan dan kesinambungan penyediaan tenaga listrik dari PLTS yang didukung dengan pengoperasian dan pemeliharaan yang baik dan benar akan terus terjaga kualitasnya sehingga manfaatnya dapat terus dinikmati demi mewujudkan masyarakat Indonesia yang adil dan sejahtera.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih atas kerjasama seluruh pihak yang terlibat dalam penyusunan buku panduan ini. Masukan dan saran untuk penyempurnaan buku panduan ini sangat kami harapkan.

Buku ini tidak untuk diperjual-belikan, pelanggaran terkait penyalahgunaan buku ini dapat dituntut pidana dan diberi sanksi sesuai ketentuan dan peraturan yang berlaku.

Daftar Isi

Sambutan Direktur Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi i
Kata Pengantar ii
Daftar Isi iv
Daftar Gambar v
Daftar Tabel v
BAB 1 Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Petunjuk Penggunaan Buku 1
1.3 Sasaran Pengguna 2
BAB 2 Gambaran Umum PLTS *Off-grid* 3
2.1 Konfigurasi *Off-grid* 4
2.2 Pola Operasi PLTS Off-grid 6
2.3 Komponen PLTS *Off-grid* 9
BAB 3 Pengoperasian PLTS *Off-grid* 17
3.1 Persiapan Pengoperasian 17
3.2 Pemeriksaan Awal 18
3.3 Pemeriksaan Tegangan Keluaran 19
3.4 Pengoperasian 19
BAB 4 Pemeliharaan 26
BAB 5 Penangan Gangguan Darurat PLTS *Off-grid* 38
5.1 Tidak Ada Listrik? 38
5.2 Kejadian *Error* pada *Inverter* atau *Charge Controller* 39
5.3 Ruang Baterai Terlalu Panas 40
5.4 Kebakaran 40
BAB 6 Pencatatan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS *Off-grid* 41
6.1 Tujuan Pencatatan 41
6.2 Format Pencatatan 41
Daftar Istilah 44
Daftar Singkatan 46
Daftar Pustaka 47
Lampiran 1 Teori Dasar Listrik, Pengenalan Alat Ukur dan Pengukuran Besaran Listrik
Lampiran 2 Komponen Utama dan Komponen Penunjang PLTS *Off-grid*
Lampiran 3 Cara Menggunakan Multimeter / Multitester
Lampiran 4 Formulir Daftar Pemeriksaan PLTS *Off-grid*
Lampiran 5 Buku Manual untuk masing-masing Komponen PLTS *Off-grid* dikelompokkan berdasarkan merek dan tipenya
Lampiran 6 Daftar Layanan Pelanggan untuk masing-masing Komponen PLTS *Off-grid* dikelompokkan berdasarkan merek/distributor/pabrikannya
Lampiran 7 Keselamatan Ketenagalistrikan
Lampiran 8 *Flow Chart Troubleshooting* PLTS *Off-grid*
Lampiran 9 Formulir Pencatatan Operasi dan Pemeliharaan / Pelaporan PLTS *Off-grid*

Daftar Gambar

Gambar 1. Diagram Sistem PLTS *off-grid* tipe *AC Coupling* *4*
Gambar 2. Diagram Sistem PLTS *off-grid* tipe *DC Coupling* *4*
Gambar 3. Diagram aliran energi yang dihasilkan pada siang hari 6
Gambar 4. Diagram aliran energi yang dihasilkan pada kondisi berawan/mendung 7
Gambar 5. Diagram aliran energi pada malam hari 8
Gambar 6. Risiko dan Keselamatan Kerja dalam mengoperasikan PLTS *off-grid* 17
Gambar 7. Alat Keselamatan dan Alat Kerja dalam pengoperasian PLTS off-grid 17

Daftar Tabel

Tabel 1. Komponen sistem PLTS *off-grid* 9
Tabel 2. *Starting* Sistem Baterai 19
Tabel 3. Contoh Formulir Pemeriksaan PLTS off-grid 26
Tabel 4. Cara dan Tindakan Pemeliharaan PLTS off-grid 28
Tabel 5. Contoh Penyusunan Rekap Pencatatan / Laporan Pengelola 41

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral c.q. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi setiap tahun melakukan pembangunan infrastruktur energi melalui pelaksanaan kegiatan fisik yang didanai APBN dengan target wilayah terpencil, tertinggal, perbatasan, dan kepulauan kecil. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik Terpusat Fotovoltaik *off-grid* yang selanjutnya disebut PLTS *off-grid* merupakan salah satu teknologi yang dipakai dalam pembangunan infrastruktur energi tersebut.

Dasar hukum dari kegiatan pembangunan infrastruktur tersebut adalah Peraturan Menteri ESDM Nomor 10 Tahun 2012 yang saat ini telah diubah dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 39 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Kegiatan Fisik Pemanfaatan Energi Baru dan Energi Terbarukan. Sejak tahun 2011 Kementerian ESDM c.q. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi telah membangun 563 unit PLTS *off-grid* dengan total kapasitas mencapai $\pm$18625 kWp. PLTS *off-grid* selanjutnya dikelola oleh Organisasi/Koperasi/Badan Usaha Desa dan operatornya berasal dari masyarakat setempat. Oleh karena itu, Kementerian ESDM c.q. Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (PPSDM KEBTKE) juga mengadakan Diklat Teknis Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik (PLTS Fotovoltaik) secara bertahap bagi Pengelola dan Operator PLTS Fotovoltaik *off-grid*.

Teknologi sistem PLTS *off-grid* terbilang cukup baru bagi masyarakat awam, khususnya masyarakat perdesaan yang mengelola PLTS *off-grid* di wilayah terpencil, tertinggal, perbatasan, dan kepulauan kecil. Untuk itu disusunlah buku panduan sebagai acuan dalam pengoperasian dan pemeliharaan PLTS *off-grid* di lapangan.

1.2 Petunjuk Penggunaan Buku

Buku ini dilengkapi dengan lampiran-lampiran. Pengguna dapat memakainya sebagai acuan atau sebagai informasi tambahan dalam mendukung kegiatan pengoperasian dan pemeliharaan PLTS *off-grid*.

Sebelum melakukan pengoperasian dan pemeliharaan pengguna diharapkan telah memahami dasar-dasar kelistrikan, komponen-komponen PLTS *off-grid* dan Keselamatan Ketenagalistrikan. Jika belum memperoleh pemahaman tersebut, pengguna dapat membaca Lampiran 1, Lampiran 2, dan Lampiran 7 buku ini sebagai referensi pembelajaran.

Untuk membantu pengguna dalam memahami jenis gangguan dan penanganan PLTS *off-grid*, pengguna dapat melihat Poster *Troubleshooting* PLTS *off-grid* yang terdapat pada Lampiran 8 buku ini.

Dalam pengoperasian dan pemeliharaan, pengguna akan sering mendapati pekerjaan pengukuran. Untuk itu, pengguna diharapkan telah memahami cara-cara pengukuran besaran listrik. Jika belum memperoleh pemahaman tersebut, pengguna dapat membaca Lampiran 3 buku ini sebagai referensi pembelajaran.

Dalam pemeliharaan/pemeriksaan rutin, pengguna dapat menggandakan dan menggunakan formulir daftar pemeriksaan yang terdapat pada Lampiran 4 buku ini.

Buku panduan ini disusun secara umum, bagi pengguna yang akan mengoperasikan perangkat PLTS *off-grid* dengan merek dan tipe tertentu disarankan dapat mengacu pada buku manual yang telah ada di masing-masing lokasi PLTS atau dapat dilihat pada Lampiran 5 buku ini.

Jika pengguna menghadapi masalah lain terkait suatu produk tertentu di lapangan dan tidak memahami serta tidak dapat mengatasinya sendiri, jangan mengambil risiko, pengguna dapat segera menghubungi Layanan Pelanggan yang tertera pada Lampiran 6 buku ini.

1.3 Sasaran Pengguna

Operator PLTS *off-grid*, Tim/Lembaga pengelola PLTS *off-grid*, Pemerintah Daerah.

BAB 2
GAMBARAN UMUM PLTS *OFF-GRID*

Berdasarkan SNI 04-6267.601-2002, Pembangkitan Tenaga Listrik adalah suatu proses, energi listriknya diperoleh dari suatu energi bentuk lain. Berdasarkan SNI 8395:2017, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) fotovoltaik adalah sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel fotovoltaik. *Off-grid* adalah sistem kelistrikan yang tidak terhubung dengan jaringan listrik umum. Jadi dapat diartikan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik *off grid* yang selanjutnya dalam buku ini disebut PLTS *off-grid* adalah pembangkitan tenaga listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel fotovoltaik dimana sistem kelistrikannya tidak terhubung dengan jaringan listrik umum.

PLTS *off-grid* pada umumnya terdiri dari komponen sebagai berikut:

1. Modul surya

Pengertian Modul Surya Berdasarkan SNI 8395:2017 adalah beberapa sel surya yang digabungkan menjadi sebuah perangkat yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Modul surya adalah komponen utama pada PLTS *off-grid*. Tanpa komponen ini energi listrik tidak dapat dihasilkan.

2. Controller

Pengertian *Controller* berdasarkan SNI 8395:2017 adalah suatu perangkat keras yang berfungsi sebagai alat kontrol pengisian dan pengeluaran arus listrik pada baterai. *Controller* ini biasanya terintegrasi dengan sebuah kotak terminal baterai.

3. Inverter

Pengertian inverter berdasarkan SNI 8395:2017 adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC/a.s.) menjadi arus bolak-balik (AC/a.b.b.) [1].

Inverter ini dapat kita jumpai pada berbagai macam jenis paralatan elektronika. Tanpa alat ini arus searah yang dihasilkan oleh modul surya tidak akan dapat digunakan secara langsung oleh alat-alat elektronika yang umumnya membutuhkan arus bolak-balik sebagai pasokan daya utamanya.

4. Baterai

Pengertian baterai berdasarkan SNI 8395:2017 adalah alat yang terdiri dari satu atau lebih sel dimana energi kimia diubah menjadi energi listrik dan digunakan sebagai penyimpan energi listrik. Tanpa baterai maka energi surya hanya dapat digunakan pada saat ada sinar matahari saja karena tidak ada alat penyimpan energinya.

Jika pengguna ingin menambah wawasan lebih detail dari masing-masing komponen PLTS *off-grid,* pengguna dapat menggunakan Lampiran 2 buku panduan ini.

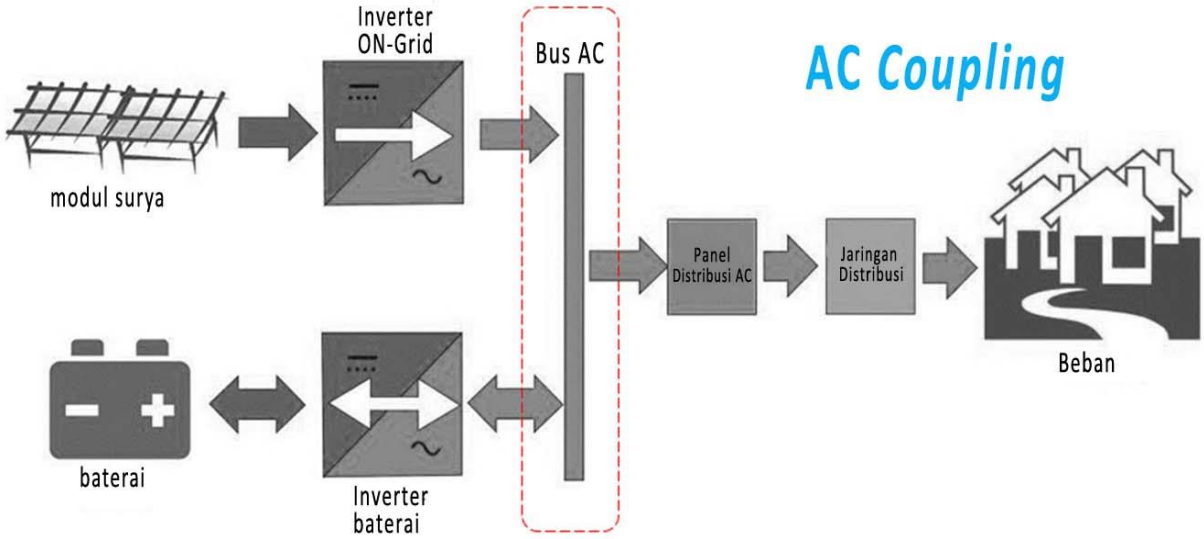
---

[1] Istilah “a.s.” dan “a.b.b.” berdasarkan SNI 04-6267.601-2002:
sistem arus bolak-balik (*alternating current system*) **/ sistem a.b.b.** (*a.c. system*)
sistem listrik yang disulang oleh tegangan bolak-balik
sistem arus searah (*direct current system*) **/ sistem a.s.** (*d.c system*)
sistem listrik yang disulang oleh tegangan searah

2.1 Konfigurasi PLTS *Off-grid*

Konfigurasi kerja yang umum diimplementasikan dalam PLTS *off-grid* ada 2 (dua) sistem yaitu berbasis *DC coupling* dan *AC coupling*. Istilah *coupling* berdasarkan hubungan titik ke titik koneksinya. Umumnya, sistem PLTS *off-grid* terdiri dari dua bagian kelistrikan yang berbeda yaitu sisi arus bolak-balik disingkat a.b.b. (arus AC) dan sisi arus searah disingkat a.s. (arus DC). Ketika sistem PLTS *off-grid* menerapkan penggunaan fungsi cadangan baterai, ada dua titik koneksi yang dapat dibuat dari keluaran *array* modul surya. *Array* dapat terkoneksi ke sisi AC atau sisi DC dari sistem kelistrikan PLTS.

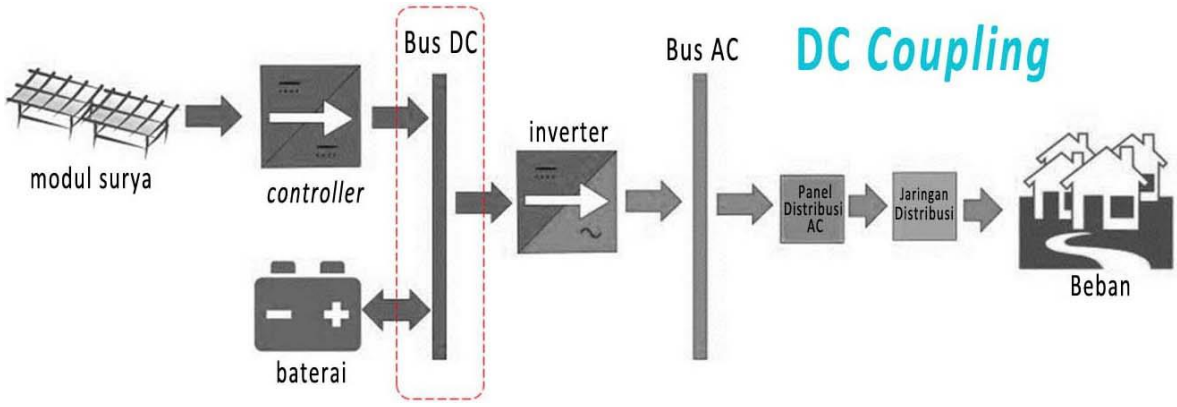
Sistem *AC Coupling* diilustrasikan pada gambar dibawah ini:



Sumber: GIZ

Gambar 1. Diagram Sistem PLTS *off-grid* tipe *AC Coupling*

Sedangkan, Sistem *DC Coupling* diilustrasikan pada gambar dibawah ini:



Sumber: GIZ

Gambar 2. Diagram Sistem PLTS *off-grid* tipe *DC Coupling*

Perbedaan *DC Coupling* dan *AC Coupling*:

2.1.1 *AC Coupling*

Pada sistem *AC Coupling* titik koneksi berada pada sisi AC. Pada jenis sistem ini, inverter *grid-tied* / inverter *on-grid* (inverter yang terhubung ke jaringan AC) bertanggungjawab dalam mengelola potensi energi yang terserap di modul surya melalui *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Keluaran dari inverter *grid-tied* terhubung melalui busbar ke sisi beban AC. Pada kebanyakan kasus sisi beban AC dipisah antara beban AC reguler dan beban AC kritis (beban-beban yang harus dijaga tetap menyala). Beban-beban AC kritis ini akan tetap teraliri listrik meski saat matahari tidak bersinar. Porsi sistem cadangan *AC Coupling* bersumber dari baterai dan inverter baterai yang mengambil alih operasi ke jaringan (*grid*) selama jaringan kehilangan daya. Energi yang diserap modul surya dari matahari pertama sekali dialirkan ke beban AC kritis melalui inverter *grid-tied* baru kemudian ke baterai melalui inverter baterai (pada situasi ini, inverter baterai berfungsi sebagai *charging* untuk baterai).

Penting untuk diketahui bahwa inverter baterai pada aplikasi *AC Coupling* memiliki fungsi 2 (dua) arah sebagai berikut:

- Pertama sebagai *rectifier* dengan melakukan *charging* baterai (AC ke DC).
- Kedua sebagai inverter untuk baterai (DC ke AC). Hal ini menjadikan inverter baterai pada sistem *AC Coupling* disebut juga dengan istilah *Bidirectional Inverter*.

Ketika PLTS kehilangan suplai energi matahari, inverter baterai akan memutus inverter *grid-tied* dari sistem kelistrikan kemudian inverter baterai akan mengambil alih sinkronasi dengan menyuplai tegangan listrik AC ke utilitas. Pada situasi ini, *Bidirectional Inverter* menjalankan fungsi inverter untuk baterai.

2.1.2 *DC Coupling*

Sistem *DC Coupling* terkoneksi ke sisi arus searah (DC) dari sistem kelistrikan PLTS *off-grid*. Pada sistem ini *charge controller* mengatur energi matahari yang terserap oleh *array* modul surya melalui MPPT. Energi keluaran dari *charge controller* terhubung melalui busbar DC ke sistem baterai sebagai penyimpan energi. Baterai terhubung ke inverter yang bertugas mengkonversi arus searah (DC) ke arus bolak-balik (AC). Selanjutnya arus AC dialirkan dari inverter ke beban AC.

2.2 Pola Operasi PLTS *Off-grid*

Terdapat 3 (tiga) pola operasi yang umum pada PLTS *off-grid,* yaitu:

2.2.1 Siang hari pada saat energi PLTS *off-grid* lebih besar dari kebutuhan beban

Besar energi yang dihasilkan oleh PLTS *off-grid* sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh modul surya dan efisiensinya. Intensitas matahari maksimum mencapai 1000 Watt/m^2, apabila efisiensi modul surya sebesar 16% maka daya ideal yang dapat dihasilkan oleh modul surya adalah sebesar 160 Watt/m^2. Diagram aliran energi yang dihasilkan pada siang hari dapat dilihat pada Gambar 3.

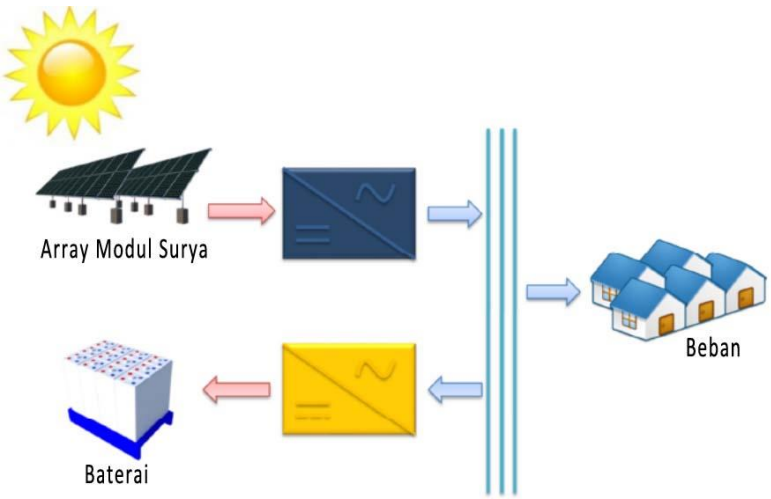


Diagram aliran energi berbasis AC Coupling (Siang Hari)

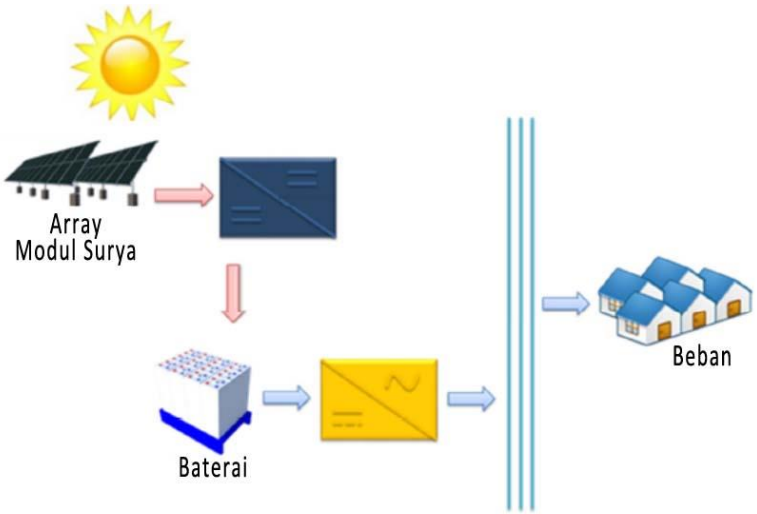


Diagram aliran energi berbasis DC Coupling (Siang Hari)

Sumber: PT. Industri Telekomunikasi Indonesia (Persero)

Gambar 3. Diagram aliran energi yang dihasilkan pada siang hari

Pada sistem *AC Coupling*, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut langsung disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter *grid-tied* / inverter *on-grid*,

apabila beban sudah tercukupi energi berlebih yang dihasilkan modul surya digunakan untuk pengisian baterai melalui inverter baterai /inverter *bidirectional.*

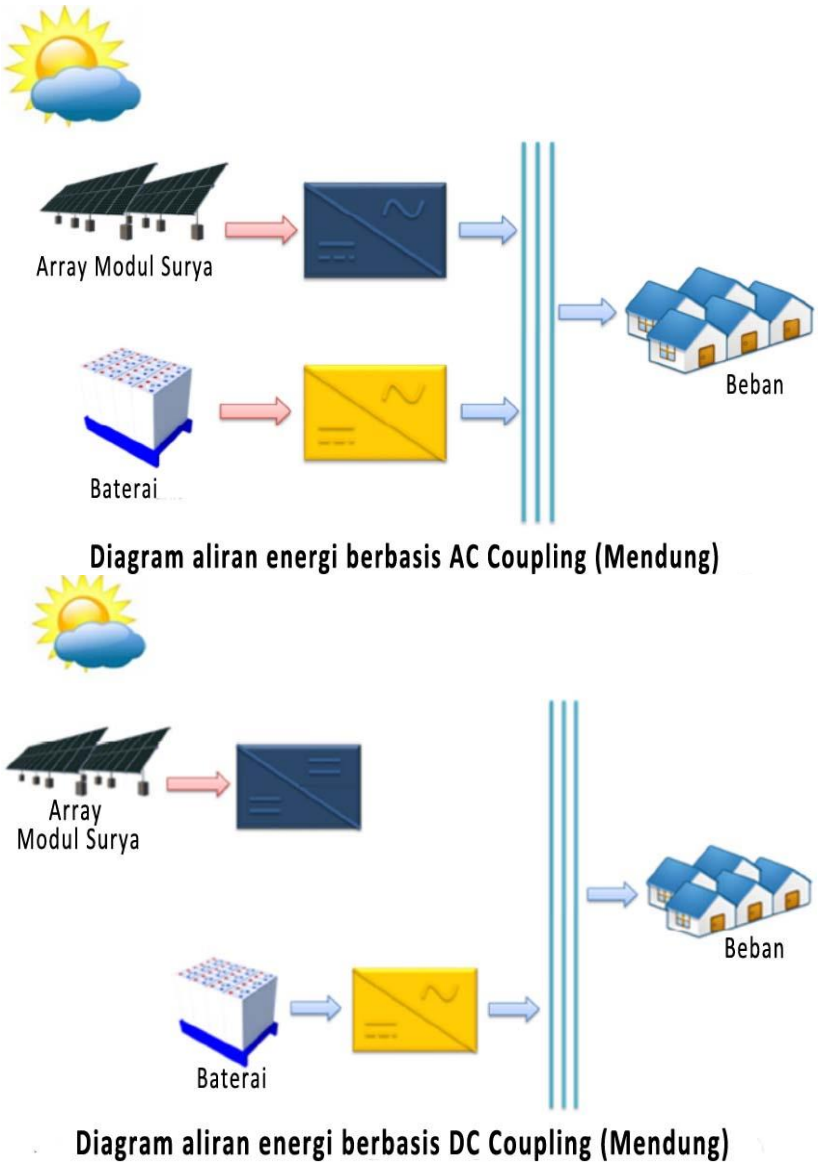
Pada sistem *DC Coupling*, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut digunakan untuk mengisi baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC) terlebih dahulu, baru kemudian disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter.

2.2.2 Siang hari saat energi PLTS *off-grid* lebih kecil dari kebutuhan beban

Kondisi ini dapat terjadi apabila :

- Saat kondisi berawan atau mendung
- Saat sore hari menjelang matahari terbenam PLTS *off-grid* akan menghasilkan energi listrik dari matahari namun tidak maksimal

Diagram aliran energi yang dihasilkan pada kondisi berawan/mendung dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber: PT. Industri Telekomunikasi Indonesia (Persero)

Gambar 4. Diagram aliran energi yang dihasilkan pada kondisi berawan/mendung

Pada sistem *AC Coupling*, energi yang dihasilkan modul surya dan energi yang tersimpan dalam baterai disalurkan secara paralel ke beban (konsumen).

Pada sistem *DC Coupling*, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut digunakan untuk mengisi baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC) terlebih dahulu, baru kemudian disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter.

2.2.3 Malam hari

Pada malam hari sumber energi matahari tidak dapat dimanfaatkan lagi, oleh karena itu beban akan disuplai oleh baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai pada siang hari akan dipergunakan untuk menyuplai beban saat dibutuhkan melalui Inverter. Kemudian Inverter mengubah arus a.s. (DC) pada sisi baterai menjadi arus a.b.b. (AC) ke sisi beban. Diagram aliran energi pada malam hari dapat dilihat pada Gambar 5.

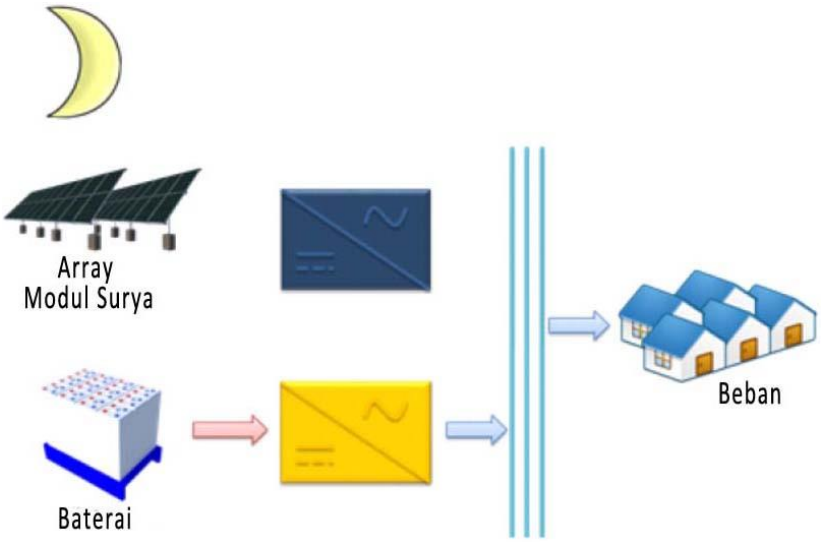


Diagram aliran berbasis AC Coupling (Malam Hari)

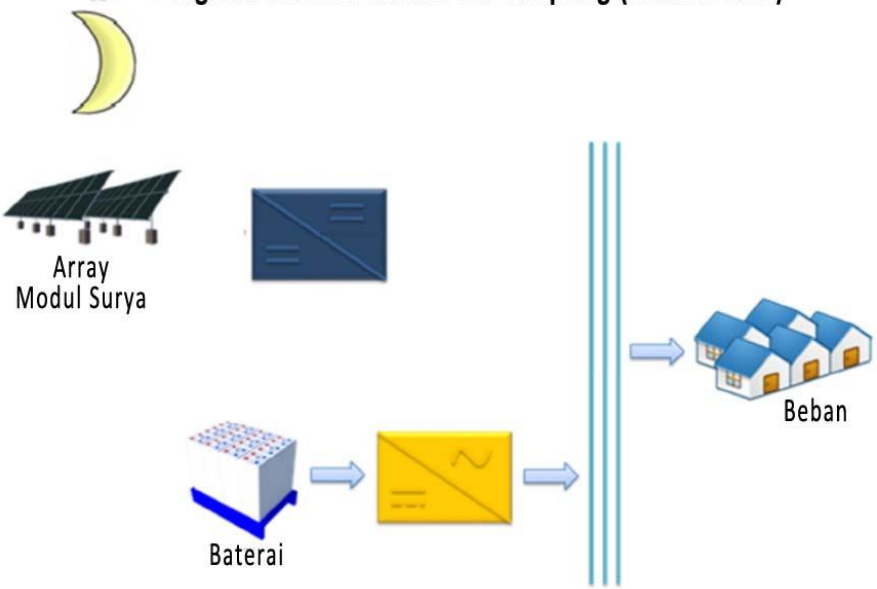


Diagram aliran energi berbasis DC Coupling (Malam Hari)

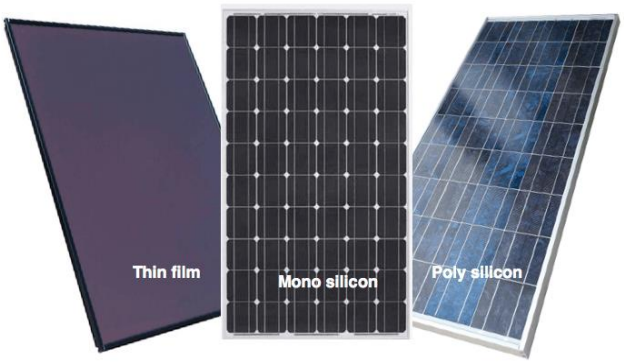
Sumber: PT. Industri Telekomunikasi Indonesia (Persero)

Gambar 5. Diagram aliran energi pada malam hari

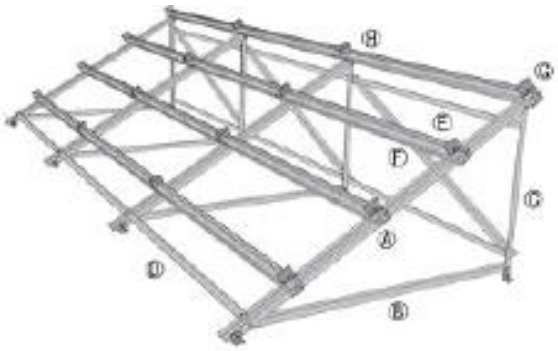
2.3 Komponen PLTS *Off-Grid*

Komponen-komponen yang umumnya digunakan dalam sistem PLTS *off- grid* dapat dilihat pada Tabel 1.

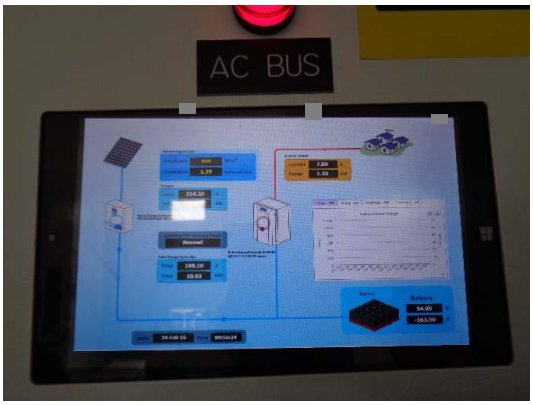
Tabel 1. Komponen Sistem PLTS *off-grid*

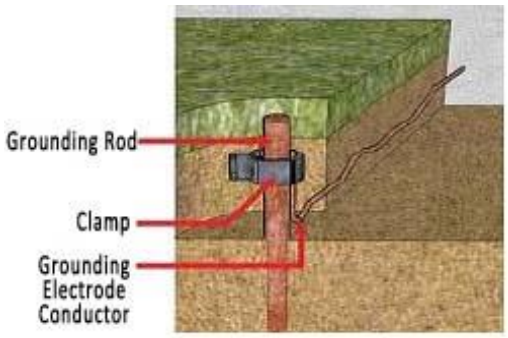
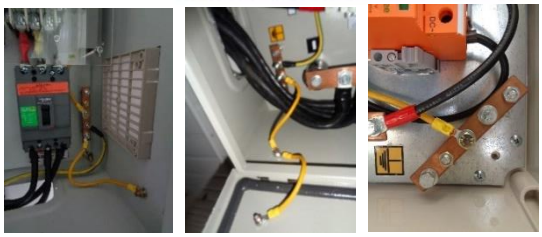
Komponen	Contoh Gambar	Keterangan
Modul Surya		Fungsi : mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Jenis – jenis modul surya, antara lain: - *Monocrystaline silicon* - *Polycrsytaline silicon* - *Thin film*
Solar Charge Controller (SCC)	 	Fungsi: mengatur listrik arus searah (DC) yang diisi ke baterai dan yang dikeluarkan dari baterai

Komponen	Contoh Gambar	Keterangan
Inverter Baterai / *Bidirectional Inverter*		Fungsi: Sebagai *rectifier* dengan melakukan *charging* baterai (AC ke DC) dan sebagai inverter untuk baterai (DC ke AC)
Inverter / inverter *On-grid* / inverter *Grid-tied*		Fungsi: Mengubah listrik arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) Inverter / *On-grid inverter* / Inverter *Grid-tied* terhubung melalui busbar ke sisi beban AC

Komponen	Contoh Gambar	Keterangan
Penyangga Modul Surya	 	Fungsi: Menyangga/menopang modul surya sesuai dengan posisi dan kemiringan yang telah ditentukan. Bahan terbuat dari besi yang *galvanized* untuk melindungi struktur dari karat.
Baterai	 *Lithium-ion* *VRLA Gel* *Zinc Air*	Fungsi: Menyimpan energi listrik di dalam satu atau lebih sel dimana energi kimia dapat diubah menjadi energi listrik Jenis-jenis baterai antara lain: -*Lithium-ion* -*VRLA Gel* - *Zinc Air*

Komponen	Contoh Gambar	Keterangan
Combiner Box		Fungsi: Panel listrik arus searah (DC) yang menggabungkan keluaran dari beberapa *string* modul surya menjadi satu. Berfungsi juga sebagai panel isolasi dan proteksi terhadap arus/tegangan lebih dan petir.
Sistem Monitoring		Fungsi: Mencatat, merekam, menampilkan dan memonitor data-data parameter serta informasi sistem PLTS. Sistem monitoring dapat diakses dari jarak jauh melalui jaringan data yang ada. Alat ini lebih sering dikenal sebagai *Remote Monitoring System* (RMS)

Komponen	Contoh Gambar	Keterangan
		
Panel Distribusi AC		Fungsi: Panel distribusi tegangan rendah 3 Phasa arus bolak-balik (AC) yang berfungsi menyalurkan daya dari pembangkit ke beban. Panel ini umumnya terdiri dari beberapa *output feeder*
Kabel		Fungsi: Menghubungkan kelistrikan komponen-komponen PLTS
Rumah Pembangkit		Fungsi: untuk penempatan peralatan dan tempat kegiatan operasional pembangkit

Komponen	Contoh Gambar	Keterangan
Sistem *grounding* (pentanahan) dan Penangkal Petir	  	**Sistem pentanahan peralatan** Fungsi: Sistem pentanahan peralatan dibuat dengan menggunakan batang (*rod*) tembaga yang berfungsi melindungi baterai, inverter, *controller*, dan perangkat aktif lainnya dari induksi petir. **Penangkal petir** Fungsi: melindungi peralatan *array* modul surya dan rumah pembangkit dari sambaran langsung petir.

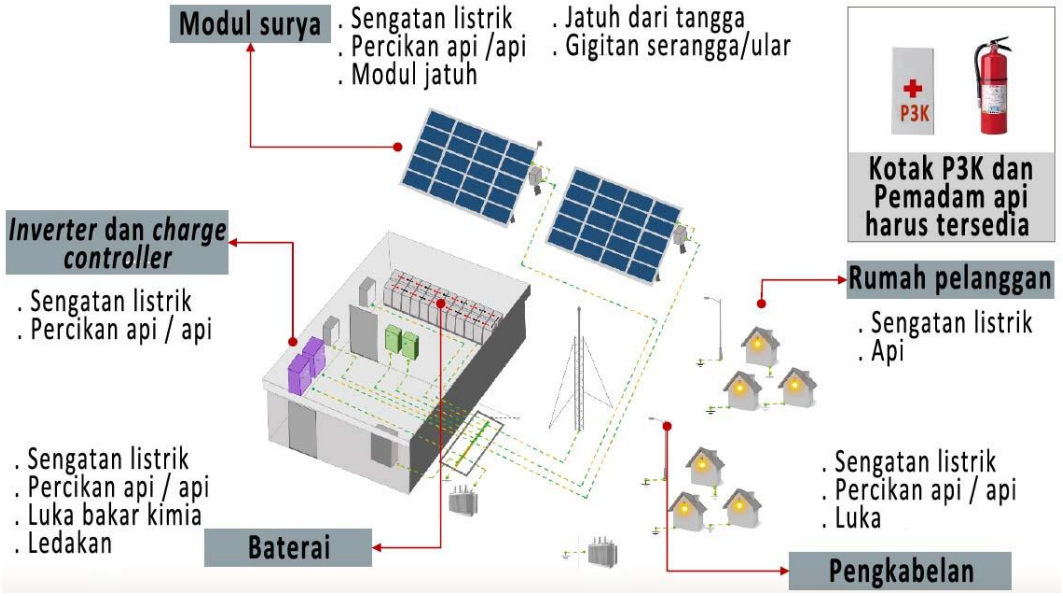
Komponen	Contoh Gambar	Keterangan
Tiang Distribusi Tegangan Rendah dan Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU)		**Tiang distribusi Tegangan Rendah (TR)** Fungsi: Penopang kabel distribusi tenaga listrik Tegangan Rendah (TR) **Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU)** Fungsi: lampu yang digunakan untuk penerangan jalan dimalam hari. Tiang distribusi Tegangan Rendah (TR) umumnya terbuat dari Pipa Besi dan tiap tiang dipasang lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) jenis super hemat energi (lampu LED)

Komponen	Contoh Gambar	Keterangan
Energy Limiter		Fungsi: Alat yang digunakan untuk membatasi pemakaian listrik konsumen. Alat ini sangat penting digunakan untuk menjaga keandalan sistem pembangkit agar beroperasi sesuai dengan desain yang direncanakan (tidak kelebihan beban)

BAB 3
PENGOPERASIAN PLTS *OFF-GRID*

3.1 Persiapan Pengoperasian

Sebelum melakukan pengoperasian, operator diharuskan telah memahami Keselamatan Ketenagalistrikan yang telah dijelaskan pada Lampiran 7 buku ini. Gambar 6 dibawah dapat digunakan untuk mereviu kembali Risiko dan Keselamatan Kerja dalam pengoperasian PLTS *off-grid*.



Sumber: GIZ

Gambar 6. Risiko dan Keselamatan Kerja dalam Mengoperasikan PLTS *off-grid*

Sumber: GIZ

Gambar 7. Alat Keselamatan dan Alat Kerja dalam Pengoperasian PLTS *off-grid*

Sebelum mengoperasikan sistem, kondisi dan kesiapan operasi semua komponen sistem harus diperiksa terlebih dahulu. Namun sebelum melakukan pemeriksaan diharuskan telah menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) dengan tepat, baik dan benar. Untuk pemeriksaan dan pengoperasian yang lebih rinci, gunakan dan pelajari buku Operasi dan Manual perangkat yang telah ada di masing-masing lokasi PLTS secara detail, baik dan benar.

3.2 Pemeriksaan Awal

Sebelum melakukan pemeriksaan awal, pastikan telah menggunakan APD dengan tepat, baik dan benar. Selain itu, pastikan telah memegang *single line & wiring diagram* sistem PLTS *off-grid.*

Pemeriksaan *Grounding*

- Pastikan *grounding* peralatan dan *grounding* petir sesuai dengan desain awal
- Pastikan seluruh koneksi kabel *grounding* terpasang dengan baik/tidak terputus/longgar.
- Pastikan jalur kabel *grounding* di *Solar Charge Controller/Inverter* sudah melewati perangkat *ground fault detection* pada inverter dan terminal *grounding inverter* terhubung ke sistem *grounding* peralatan PLTS *off-grid*
- Pastikan sensor telah terpasang dengan baik
- Pastikan terminal komunikasi terhubung secara benar
- Pastikan semua *gateway* terhubung ke komputer di ruang operator

***Array* Modul Surya**

Sebelum menghidupkan inverter, periksa kondisi *array* sebagai berikut:

- Pastikan kondisi *arrester* baik dan koneksi terpasang dalam keadaan baik di dalam *combiner box*
- Pastikan *grounding* terpasang sesuai dengan desain
- Ukur tegangan arus searah (V_{dc}) masing-masing blok/grup
- Periksa kondisi lingkungan (temperatur/suhu, irradiasi matahari)

Solar Charge Controller* atau Inverter *Grid-tied

- Periksa peletakan *Solar Charge Controller/ Inverter Grid-tied* pada tempat yang telah ditentukan sesuai dengan desain
- Periksa integrasi pengkabelan *combiner box*
- Periksa koneksi kabel keluaran *combiner box* ke koneksi arus searah (DC) *Solar Charge Controller* atau Inverter *Grid-tied*
- Pemeriksaan hasil instalasi

Sistem Baterai

Poin pemeriksaan sistem baterai dengan prosedur yang diberikan oleh vendor, secara garis besar adalah sebagai berikut :

- Periksa apakah prosedur instalasi mekanikal sudah dipenuhi
- Periksa konektor pada baterai apakah sudah terpasang dengan benar
- Pastikan tidak ada kebocoran elektrolit
- Pastikan posisi *breaker* DC dan AC dalam posisi “OFF”
- Pastikan tombol *emergency stop* berfungsi dan posisi *release*

Inverter Baterai / *Bidiretional Inverter*

Poin pemeriksaan inverter baterai sebagai berikut :

- Periksa apakah prosedur instalasi mekanikal sudah dipenuhi
- Periksa pengkabelan arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC)
- Pastikan posisi *breaker* DC dan AC dalam posisi "OFF"

3.3 Pemeriksaan Tegangan Keluaran

Sisi Jaringan

- Pastikan urutan Phasa dan Netral pada jaringan dan terminal inverter sudah benar
- Pastikan tegangan Phasa ke Netral pada jaringan berkisar 220 Volt AC dan Phasa ke Phasa pada jaringan berkisar 380 Volt AC

Sisi Arus Searah (DC)

- Pastikan tegangan DC tidak melebihi tegangan maksimum yang diperbolehkan pada *Solar Charge Regulator* / *Grid-tied Inverter* atau *Battery Inverter*.
- Pastikan semua polaritas tegangan benar
- Pastikan kekencangan sambungan kabel (jangan sampai ada yang longgar)
- *Starting Up Solar Charge Regulator / Grid-tied Inverter*
- Setelah semua poin diperiksa dan terpenuhi maka *Solar Charge Regulator / Grid-tied Inverter* sudah siap di *starting up* untuk pertama kali

3.4 Pengoperasian

3.4.1 Menghidupkan PLTS *Off-grid* sistem AC *Coupling*

Sebelum menyalakan PLTS, pastikan telah menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) dengan tepat, baik dan benar. Langkah-langkah menyalakan PLTS sebagai berikut:

1. Pastikan semua MCB di dalam *combiner box* dan MCB menuju beban di dalam panel distribusi AC dalam keadaan mati.
2. Pastikan tidak ada perbaikan atau pekerjaan di PLTS atau jaringan distribusi
3. *Starting* Sistem Baterai

Tabel 2. *Starting* Sistem Baterai

Baterai VRLA Gel	Baterai Lithium-ion	Baterai Zinc Air
- Periksa tegangan baterai apakah sudah sesuai spesifikasi tegangan keluaran pada *solar charge controller*/ spesifikasi tegangan DC untuk inverter baterai - Atur *circuit breaker* atau *fuse* DC yang ada di panel DC ke posisi "ON" - Tunggu hingga proses *auto-initialization* inverter selesai	- Pastikan baterai telah terinstall dengan baik sesuai dengan panduan perusahaan - Nyalakan saklar utama pada posisi ON kemudian perhatikan indikator LED yang menjelaskan status baterai. Pastikan agar baterai berjalan pada mode normal - Atur *circuit breaker* atau *fuse* DC yang ada di panel DC ke posisi "ON"	- Tekan tombol hijau (pada bagian atas papan *dark start*) di dalam *master cabinet* untuk semua cluster. - Setelah 5 menit, pastikan lampu LED berwarna hijau pada *darkstart kit* menyala. - Pastikan tegangan pada busbar lebih tinggi dari 37 V - Setelah 10 menit, pastikan tegangan pada busbar naik melebihi 49V.

	- Tunggu hingga proses *auto-initialization* inverter selesai	- Hidupkan Inverter atau *Charge Controller*. - Pastikan baterai mulai mengisi. - Biarkan baterai mengisi sampai SOC penuh sebelum di sambungkan dengan beban penduduk.

4. Inverter Baterai/*Bidirectional Inverter*
   Langkah menyalakan:
   - Atur *circuit breaker* yang ada di inverter baterai dan panel distribusi AC secara berurutan ke posisi "ON"
   - Inverter akan beroperasi secara otomatis

   Untuk tipe dan merek tertentu disarankan mengikuti prosedur *starting up* sesuai buku petunjuk operasi dan pemeliharaan perangkat yang sesuai. Buku Operasi dan Manual perangkat telah ada di masing-masing lokasi PLTS atau dapat pula merujuk pada Lampiran 5 buku ini, harap dipelajari dan dilaksanakan secara teliti, cermat, baik dan benar. Berikan waktu perangkat "*warming-up*" selama kurang lebih 2 menit.

5. *Starting up Solar Charge Controller/* Inverter *Grid-tied*

   Setelah semua poin di periksa dan terpenuhi maka *Solar Charge Controller*/*Grid-tied inverter* siap *starting up* untuk pertama kali. Ikuti prosedur *starting up* sesuai buku petunjuk operasi dan pemeliharaan yang sesuai. Buku Operasi dan Manual perangkat telah ada di masing-masing lokasi PLTS atau dapat pula merujuk pada Lampiran 5 buku ini, harap dilaksanakan secara cermat, teliti, hati-hati, baik dan benar. Nyalakan *Solar Charge Controller*/Inverter *Grid-tied* dimulai dari *master* dan dilanjutkan dengan *slave*. Berikan waktu perangkat "*warming-up*" selama kurang lebih 2 menit.

6. Pada Panel Distribusi, naikkan MCB menuju beban rumah pelanggan dan lampu jalan.
   Berikut adalah langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam menyalakan Panel Distribusi :
   a. Putar *handle Change Over Switch* (COS) berlawanan arah jarum jam dari posisi "0" ke posisi "I".
   b. Hidupkan MCB *outgoing* Inverter 1, Inverter 2, Inverter 3, dst. dan MCB cadangan (bila digunakan).
   c. Periksa meter Panel Distribusi. Jarum menunjuk $V_{L\text{-}N} = 220$ volt; $V_{L\text{-}L} = 380$ volt; Arus = tergantung beban; $f = 50$ Hz.
   d. Periksa indikator Inverter, bila lampu LED Alarm Inverter menyala buka buku petunjuk yang tersedia. Buku Operasi dan Manual perangkat telah ada di masing-masing lokasi PLTS atau dapat pula merujuk pada Lampiran 5 buku ini, harap dipelajari dan dilaksanakan secara teliti, cermat, baik dan benar.

3.4.2 Menghidupkan PLTS *Off-grid* sistem DC *Coupling*

Sebelum menyalakan PLTS, pastikan telah menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) dengan tepat, baik dan benar. Langkah-langkah menyalakan PLTS sebagai berikut:

1. Pastikan semua MCB di dalam combiner box dan MCB menuju beban di dalam panel distribusi AC dalam keadaan mati.
2. Pastikan tidak ada perbaikan atau pekerjaan di PLTS atau jaringan distribusi
3. *Starting* Sistem Baterai dilakukan merujuk pada Tabel 2.
4. Inverter Baterai/*Bidirectional Inverter*
   a. Langkah menyalakan yaitu dengan memastikan persyaratan berikut sebelum menghidupkan inverter:
      1) Pastikan apakah tegangan dari system baterai memenuhi persyaratan system dan spesifikasi inverter
      2) Pastikan baterai koneksi polaritas yang benar
      3) Semua pemutus sirkuit dan sekering pemegang terpasang dengan benar
      4) Memastikan bahwa semua pemutus sirkuit inverter dan system dimatikan
      5) Memastikan bahwa semua pemegang sekering dibuka atau diputuskan.
   b. Langkah menghidupkan Inverter:
      1) Hidupkan bank baterai sekering /SW di bank baterai
      2) Hidupkan controller solar charge dalam system dengan mengikuti prosedur start –up di manual user masing-masing merek inverter.
      3) Verifikasi semua sekering didudukan yang benar dan kemudian menutup semua pemegang sekering.
      4) Tekan dan tahan tombol *precharge*/tombol on sampai *battery correct polarity* lampu indicator Polaritas menyala dengan warna sesua masing-masing merek inverter. (Jika tidak menyala atau ada indicator warning STOP langkah ini dan memeriksa polaritas baterai dan baterai bank koneksi fuse/SW polaritas) dan lampu indicator sampai menyala. Setelah itu nyalakan baterai sirkuit pemutus dalam unit.
      5) Tekan dan tahan tombol ON pada tampilan panel depan inverter selama 2 detik sampai RUN (ON) kemudian lepaskan.
      6) Hidupkan output inverter circuit breaker pada panel distribusi utama AC setelah itu tekan tombol untuk memverifikasi status. Layar LCD akan menampilkan status inverter ON. Ulangi instruksi dari awal untuk menyalakan inverter yang lainnya.
      7) Setelah semua inverter yang ada menyala (jumlah sesuai kapasitas yang terpasang di masing-masing site), lakukan verifikasi ke panel distribusi ac untuk mulai memasukan beban AC ke grid.

Untuk tipe dan merek tertentu disarankan mengikuti prosedur *starting up* sesuai buku petunjuk operasi dan pemeliharaan perangkat yang sesuai. Buku Operasi dan Manual perangkat telah ada di masing-masing lokasi PLTS atau dapat pula merujuk pada Lampiran 5 buku ini, harap dipelajari dan dilaksanakan secara teliti, cermat, baik dan benar. Berikan waktu perangkat "*warming-up*" selama kurang lebih 2 menit.

5. *Starting up Solar Charge Controller*
   Langkah menyalakan yaitu dengan memastikan persyaratan berikut sebelum menghidupkan *Solar charge controller*:
   1) Matikan semua peralatan listrik yang terhubung ke inverter semua paralel.
   2) Memastikan bahwa circuit breaker BATERAI semua charge controller dan inverter dimatikan.
   3) Pastikan koneksi polaritas yang benar dan kemudian hidupkan bank baterai sekering /SW di bank baterai.
   4) Tekan dan tahan tombol precharge atau tombol ON (jika ada alarm bunyi bip, HENTIKAN langkah ini dan memeriksa polaritas baterai) hingga indikator layar LCD menunjukkan "ON" Kemudian tekan tombol sekali untuk memeriksa tegangan baterai lebih dari 40 Vdc dan kemudian hidupkan circuit breaker BATERAI panel.
   5) Verifikasi koneksi polaritas PV sebelum mengaktifkan circuit breaker PV pada PV junction box atau kotak combiner.
   6) *Charge controller* sudah mulai beroperasi dan indicator lampu STATUS pada layar akan menyala atau berkedip.

   Setelah semua poin di periksa dan terpenuhi maka *Solar Charge Controller* siap *starting up* untuk pertama kali. Ikuti prosedur *starting up* sesuai buku petunjuk operasi dan pemeliharaan yang sesuai. Buku Operasi dan Manual perangkat telah ada di masing-masing lokasi PLTS atau dapat pula merujuk pada Lampiran 5 buku ini, harap dilaksanakan secara cermat, teliti, hati-hati, baik dan benar. Nyalakan *Solar Charge Controller* dimulai dari *master* dan dilanjutkan dengan *slave*. Berikan waktu perangkat "*warming-up*" selama kurang lebih 2 menit.

6. Pada Panel Distribusi, naikkan MCB menuju beban rumah pelanggan dan lampu jalan.
   Berikut adalah langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam menyalakan Panel Distribusi:
   e. Putar *handle Change Over Switch* (COS) berlawanan arah jarum jam dari posisi "0" ke posisi "I".
   f. Hidupkan MCB *outgoing* Inverter 1, Inverter 2, Inverter 3, dst. dan MCB cadangan (bila digunakan).
   g. Periksa meter Panel Distribusi. Jarum menunjuk $V_{L\text{-}N} = 230$ volt; $V_{L\text{-}L} = 380$ volt; Arus = tergantung beban; $f = 50$ Hz.
   h. Periksa indikator Inverter, bila lampu LED Alarm Inverter menyala buka buku petunjuk yang tersedia. Buku Operasi dan Manual perangkat telah ada di masing-masing lokasi PLTS atau dapat pula merujuk pada Lampiran 5 buku ini, harap dipelajari dan dilaksanakan secara teliti, cermat, baik dan benar.

Kondisi Darurat

Kondisi darurat yang dimaksud adalah bila terjadi sengatan listrik, kebakaran, kebanjiran, kebocoran dan kondisi serupa lainnya yang mengancam keamanan dan keselamatan jiwa manusia. Meskipun sudah disediakan banyak titik-titik pengaman, namun kondisi yang tidak diharapkan dapat saja terjadi.

Dalam keadaan darurat lakukan langkah cepat sebagai berikut:
1. Putar *handle Change Over Switch* (COS) ke posisi "0" (posisi *off*).
2. Cabut NH *Fuse* pada panel DC.
3. Matikan MCB pemutus sirkuit baterai yang terdapat di SCC dan *Inverter*.

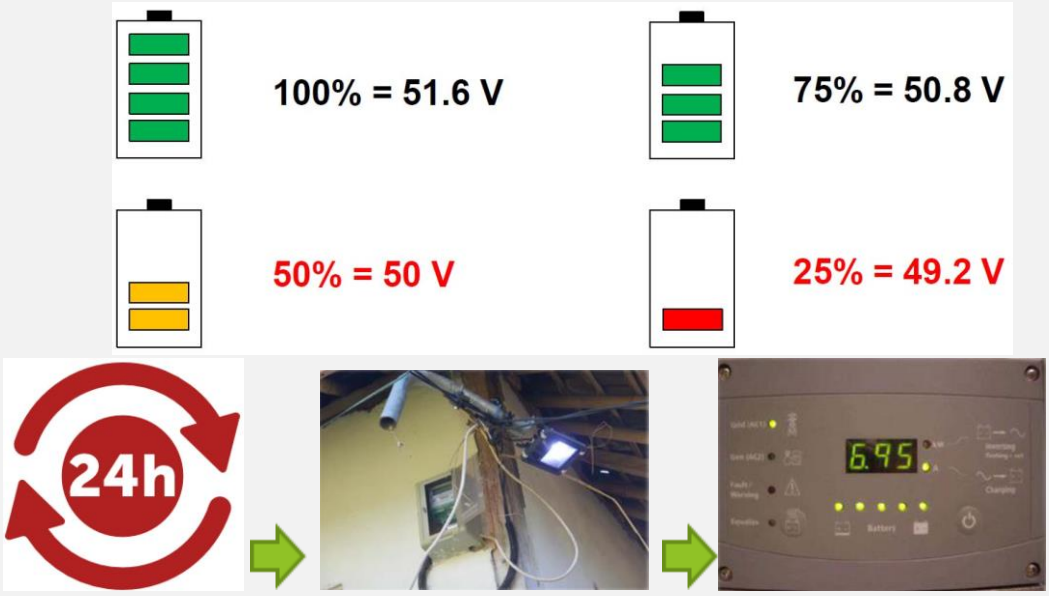
Titik-titik Pengaman Jaringan

Terdapat banyak proteksi berupa pemutus dan pembatas arus dalam sistem PLTS *off-grid*. Anda perlu mengenal nama dan lokasinya sebagai titik-titik pengaman jaringan sebagai berikut:

1. Di Panel Kombiner, yaitu: MCB individual *incoming* dan *outgoing*.
2. Di *Battery Connection Box*, yaitu: NH *Fuse*.
3. Di *Inverter* dan SCC, yaitu: *Battery Circuit Breaker*,
4. Di Panel Distribusi (COS, MCB *Incoming*, MCB *Outgoing*).

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam mengoperasikan PLTS *off-grid* untuk menjaga umur pakai baterai:

1. Pada kondisi normal, PLTS dan beban dapat beroperasi 24 jam
2. Periksa energi yang tersisa dalam baterai pada malam hari
   Cara mengetahui energi yang tersisa di dalam baterai:
   - Lihat di layar sistem monitoring (seluruh jenis baterai)
     Persentase energi yang tersisa dapat dilihat pada layar sistem monitoring
   - Ukur tegangan baterai (khusus baterai jenis VRLA Gel)
     Gambar berikut adalah indikasi untuk sistem 48 Volt.



Kondisi normal adalah energi yang tersisa > 75%

3. Alokasi energi terbatas, pastikan bahwa pelanggan tidak memakai beban berlebih pada siang hari
4. Jika baterai **kurang dari 25%** pada pencatatan malam hari, **matikan beban hingga baterai terisi penuh** saat siang hari. Jika terjadi hal seperti ini, **Pemeliharaan dibutuhkan!**

3.4.3 Mematikan PLTS *Off-grid*

Sebelum mematikan PLTS *off-grid*, pastikan telah menggunakan APD dengan tepat, baik dan benar. Langkah-langkah mematikan PLTS *off-grid*:

1. Matikan atau turunkan semua MCB menuju beban
2. Jika diperlukan, matikan *Solar Charge Controller*, *Grid-tied Inverter,* Inverter/ inverter baterai mulai dari *slave* dan berakhir dengan mematikan *master*. Untuk lebih detail, Buku Operasi dan Manual perangkat untuk setiap produk telah ada di masing-masing lokasi PLTS, harap dipelajari dan dilaksanakan secara teliti, cermat, baik dan benar.
3. Jika diperlukan, sistem baterai dapat dimatikan dengan cara memutar posisi *circuit breaker* di ACPDB dan inverter baterai secara berurutan ke posisi OFF.
4. Inverter tidak perlu dimatikan untuk operasional harian, cukup dilakukan dengan menurunkan MCB.

Bab 4
PEMELIHARAAN

Pemeliharaan pada sistem PLTS *off-grid* dimaksudkan untuk keberlangsungan sistem pembangkit yang handal dan berkelanjutan. Pemeliharaan perlu dilakukan secara benar dan teratur. Berikut ini adalah contoh formulir daftar pemeriksaan yang dilakukan dalam periode harian, mingguan, bulanan, dan 6 (enam) bulanan untuk masing-masing komponen:

Tabel 3. Contoh Formulir Pemeriksaan PLTS *off-grid*

No	Frekuensi	Aktivitas	Lokasi
	Harian	Waktu Pencatatan **- Pagi (06:00 - 07:00)**	
1		Catat Energi Keluar dari Panel Distribusi AC [kWh] - **Pagi**	Panel Distribusi AC
2		Hitung Selisih Energi Keluaran Hari Ini dan Kemarin [kWh] - **Pagi**	**Perhitungan**
3		Catat Tegangan sistem Baterai [V] - **Pagi**	Inverter Baterai
4		Periksa Indikator Charging atau Pengisian Baterai Menyala - **Pagi**	Solar charge controller / Inverter
		Waktu Pencatatan - **Malam (19:00 - 20:00)**	
5		Catat Energi Masuk dari Modul Surya [kWh]- **Malam**	Solar charge controller / Inverter
6		Catat Tegangan sistem Baterai [V] - **Malam**	Inverter Baterai
7		Periksa Indikator Discharging atau Penggunaan Beban menyala - **Malam**	Inverter Baterai
8		Cek Apakah Solar Carge Controller, Inverter Baterai, dan Inverter Jaringan beroperasi dengan baik (lampu ORANYE atau MERAH tidak menyala)	Solar charge controller / Inverter Baterai
9		Cuaca pada siang hari - Cerah = "**C**", Berawan = "**B**", Hujan = "**H**"	Solar charge controller / Inverter
1	Mingguan	Cek kebersihan permukaan dan area modul surya	Modul Surya
2		Cek apakah ventilasi rumah pembangkit tertutup rapat dan bersih	Rumah pembangkit
3		Cek temperatur ruangan baterai	Rumah pembangkit
4		Cek apakah lubang kabel ke rumah pembangkit tertutup rapat	Rumah pembangkit
5		Cek ventilasi inverter dan charge controller tidak tertutup dan bersih	Rumah pembangkit

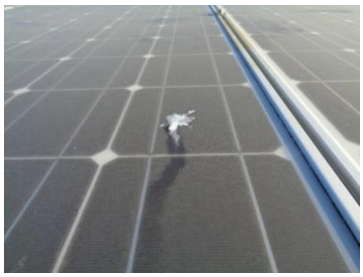
No	Frekuensi	Aktivitas	komponen
1	Bulanan	Cek bayangan (shading) pada Modul Surya	Modul Surya
2		Cek apakah setiap Modul Surya dalam keadaan baik	Modul Surya
3		Cek kebersihan rumah pembangkit dan area dibawah Modul Surya	Rumah pembangkit
4		Cek tidak ada lubang pada combiner box, tidak ada air ataupun sarang binatang	Combiner box
5		Cek apakah kondisi MCB, sekring, dan proteksi tegangan surja (SPD) pada combiner box dalam keadaan baik	Combiner box
6		Cek apakah sambungan kabel di combiner box aman, kering, dan bersih	Combiner box
7		Cek apakah semua MCB atau sekring pada panel distribusi DC masih beroperasi	Panel Distribusi DC
8		Cek Apakah Semua MCB, Sekring, SPD, dan Energi Meter pada panel Distribusi AC Masih Dalam Keadaan Baik	Panel Distribusi AC
9		Cek Apakah Ada Kebocoran Elektrolit Pada Baterai	Baterai
10		Cek Apakah Terminal Baterai Terlindungi Bahan Isolator, kencang, dan tidak berkarat (terjadi oksidasi yang ditunjukkan dengan timbulnya kerak berwarna putih)	Baterai
3		Cek apakah semua kabel termasuk kabel jaringan distribusi dalam keadaan baik & lihat untuk keberadaan bekas goresan, insulasi yang terbuka atau bentuk lain dari kerusakan (misalnya kabel rusak oleh perilaku binatang, kabel tersentuh pohon/ranting/tumbuhan lainnya)	Jaringan Distribusi
11		Cek apakah lampu jalan beroperasi dan tidak terhalang pohon	Lampu Jalan
12		Bersihkan Modul Surya dengan air dalam jumlah banyak (gunakan selang air) dan alat pembersih yang lembur (spons) tanpa menggunakan detergen	Modul Surya
13		Cek apakah permukaan generator (PV Modul) menjadi subjek dan tekanan mekanis tertentu? (sebagai contoh: akibat adanya permukaan atap yang melengkung)	Modul Surya
14		Cek apakah pagar pembangkit dalam kondisi baik (dapat dikunci, tidak berkarat dan tidak ada celah binatang masuk)	Rumah pembangkit
15		Cek semua sistem pembumian terpasang dengan baik	Seluruh Komponen
1	6-Bulanan	Cek apakah semua baut pada Modul Surya kencang dan tidak ada yang hilang	Modul Surya
2		Cek Temperatur Setiap Baterai Tidak Ada Yang Menyimpang Jauh dari Baterai yang Lain	Baterai
3		Cek Apakah Ada Sambungan Liar	Jaringan Distribusi
4		Cek apakah terdapat serangga/apakah terdapat kelembaban pada peralatan? (jika dipasang diluar ruangan)	PV Combiner / Junction Box (jika ada)
5		Cek apakah tiang jaringan berdiri kokoh dan tegak lurus	Jaringan Distribusi
6		Cek apakah energi limiter, pembumian, dan instalasi kabel rumah tangga terpasang dengan aman.	Rumah Pelanggan

Cara-cara dan tindakan dalam pemeliharaan PLTS *off-grid* adalah sebagai berikut:

Sebelum melakukan pemeliharaan, pengguna diharapkan telah memahami dasar-dasar kelistrikan, komponen-komponen PLTS *off-grid* dan Keselamatan Ketenagalistrikan. Jika belum memperoleh pemahaman tersebut, pengguna dapat membaca Lampiran 1, Lampiran 2, dan Lampiran 7 buku ini sebagai referensi pembelajaran.

Sebelum melakukan pemeliharaan, pastikan:
- Telah menggunakan Alat Pelindung Diri (APD)
- Tidak merokok di area pembangkit
- tidak memakai cincin/gelang/perhiasan dari logam

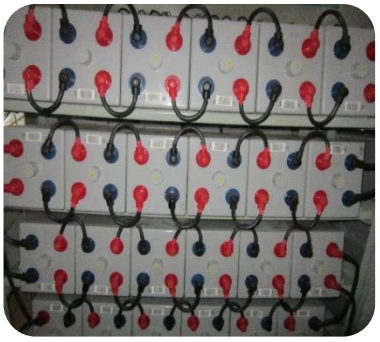
Tabel 4. Cara dan Tindakan Pemeliharaan PLTS *off-grid*

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
1. Modul Surya			
1.1.	**Pemeriksaan kebersihan modul surya** Lihat apakah pada modul surya terdapat debu, dedaunan, sampah atau kotoran yang menutupi permukaan modul surya	- Bersihkan permukaan modul surya dari debu dengan kemoceng atau kain berpermukaan halus. - Jika kotoran sulit dibersihkan, gunakan sikat dan air bersih Catatan: pembersihan menggunakan air jangan dilakukan saat siang hari (matahari sedang terik) untuk menghindari *crack* pada modul surya Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan! manfaat pemeliharaan: menjaga keluaran energi dari modul surya tetap optimal	
1.2.	**Pemeriksaan bayangan modul surya** Lihat apakah ada bayangan yang menutupi permukaan modul surya. Bayangan dapat berasal dari tanaman atau bangunan sekitar.	Pangkas atau tebang pohon sampai tidak ada bayangan yang menutupi permukaan modul surya. Risiko bahaya: perhatikan agar ranting atau batang pohon yang ditebang tidak menimpa modul surya atau pekerja.	

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
1.3.	**Pemeriksaan wilayah modul surya** - Periksa apakah wilayah modul surya bersih - Periksa apakah rumput di sekitar modul surya semakin tinggi	- Potong rumput yang ada di bawah dan sekitar modul surya - Bersihkan sampah yang ada di wilayah modul surya Risiko bahaya: Hati-hati terhadap reptil berbisa yang mungkin ada. manfaat pemeliharaan: - Mencegah bersarangnya binatang yang dapat merusak sistem kabel PLTS - Mencegah akar tanaman yang tumbuh merusak pondasi dan sistem kabel PLTS - Mencegah hewan pemakan rumput tertarik untuk masuk ke dalam area PLTS	
1.4.	**Pemeriksaan kondisi modul surya** - Periksa apakah modul surya ada yang pecah, laminasi rusak (ada gelembung udara), perubahan warna sel - Periksa apakah ada hotspot pada modul surya - Periksa kabel – kabel di bawah modul surya apakah ada yang longgar, terkelupas dan terputus - Periksa apakah semua baut pada modul surya kencang dan tidak ada yang hilang	- Matikan sistem PLTS sesuai prosedur; - Ganti modul surya yang rusak. Jika belum siap diganti, biarkan dan jangan dilepas dari *array*, karena untuk mempertahankan tegangan di *array* - Kencangkan kabel – kabel yang longgar, apabila ada kabel yang terkelupas tutup dengan isolasi listrik. Periksa secara hati-hati dan perhatikan kembali seperti awal. - Kencangkan baut yang longgar, ganti baut yang hilang **Titik Pengaman Jaringan** Jika terjadi kondisi gangguan pada saat ada cahaya matahari, matikan titik pengaman jaringan terdekat yang ada di Panel Combiner, yaitu: MCB individual *incoming* dan/atau *outgoing*.	

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
		Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan! manfaat pemeliharaan: menjaga keluaran energi dari modul surya tetap optimal	
2. Solar charge controller/Inverter baterai			
2.1.	**Pemeriksaan kebersihan ventilasi inverter / *solar charge controller*** Periksa apakah ada ventilasi inverter dan *charge controller* yang tidak tertutup dan tidak bersih	Tutup ventilasi Inverter / *Solar Charge Controller* jika ada yang terbuka, kemudian bersihkan secara rutin (bulanan) rongga-rongga ventilasi dari inverter dan *charge controller* agar tidak tersumbat Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan! manfaat pemeliharaan: menjaga agar temperatur/suhu perangkat tidak naik (tidak panas)	
	Pemeriksaan jalur kabel power dan kabel data	Jika terdapat celah, tutup dengan *sealant* manfaat pemeliharaan: Menjaga agar hewan tidak masuk ke dalam perangkat	
2.2.	**Pencatatan Tegangan (V) *Solar Charge Controller*/Inverter Baterai pada pagi hari dan malam hari (antara jam 7-8 pagi dan 18.30-20.00)** Langkah pencatatan: - Tuliskan keadaan cuaca sekitar pada saat pencatatan apakah Cuaca - Cerah = "C",	Pengukuran tegangan (V) secara langsung dengan menggunakan multi meter untuk mengukur tegangan yang dihasilkan masing-masing inverter melalui MCB yang terdapat di panel distribusi inverter Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
	Berawan = "B", Hujan = "H" atau periksa nilai *insulation*/radiasi matahari di *web browser* sistem PLTS pada komputer/PC. - Lakukan pencatatan tegangan yang keluar dari setiap *Solar Charge Controller*/ Inverter baterai dari tampilan layar yang terdapat disetiap *Solar Charge Controller*/ Inverter baterai. ***catatan**: Jika layar tampilan tidak ada, tidak terbaca atau sedang terganggu, lakukan pencatatan dengan melakukan pengukuran tegangan (V) langsung dengan menggunakan *clamp meter*.	manfaat pemeliharaan: memonitor kinerja PLTS setiap hari	
2.3.	**Periksa indikator *discharging* atau penggunaan beban menyala pada malam hari** Lihat indikator pada tiap inverter baterai/ *Solar Charge Controller*, pastikan indikator penggunaan beban menyala	- Pastikan *Solar Charge Controller*/ Inverter baterai, beroperasi dengan baik (lampu ORANYE atau MERAH tidak menyala)	
2.4.	**Periksa Solar charge controller/Inverter baterai** - Periksa apakah inverter masih	Jika inverter dengan merek tertentu tidak beroperasi normal, lihat buku manual yang dikeluarkan pabrikan untuk langkah penyelesaiannya.	

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
	beroperasi dengan baik (tidak ada tanda indikator merah atau oranye pada display). - Periksa kabel yang menuju Solar charge controller/Inverter baterai tidak ada yang terkelupas agar tidak mengurangi *losses* dari tegangan yang dihasilkan	Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	
3. Baterai			
3.1.	**Pemeriksaan kebersihan** Periksa apakah ruang baterai berserta baterai dalam kondisi bersih	Jika membersihkan dari debu, gunakan kuas kering atau kemoceng Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	
3.2.	**Periksa kebocoran cairan pada baterai dan koneksi terminal** - Periksa setiap baterai apakah terdapat kebocoran elektrolit - Periksa apakah terminal baterai terlindung bahan isolator, kencang, tidak berkarat dan tidak terjadi oksidasi (kerak putih)	- Jika terdapat kebocoran dan ditemukan oksidasi (kerak putih) segera laporkan ke teknisi, dan hati-hati dengan cairannya - Jika tidak terlindung segera pasang isolator pada baterai dan kencangkan Risiko bahaya: awas bahaya cairan kimia dan udara yang beracun akibat kebocoran pada baterai! Pastikan telah menggunakan alat pelindung diri seperti sepatu *safety* dan masker.	
3.3.	**Periksa Suhu Baterai** - Periksa dengan alat ukur apakah suhu setiap baterai tidak ada yang	Jika terjadi perbedaan suhu yang menyimpang jauh antar baterai segera periksa setiap baterai dan cari baterai yang mengalami kebocoran dan segera laporkan ke teknisi	

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
	menyimpang jauh dari baterai yang lain - Periksa suhu dan kelembaban di ruangan baterai dengan alat ukur, apakah suhu baterai melebihi 30^{0}C suhu dan kelembaban di luar ruangan	Risiko bahaya: awas bahaya cairan kimia dan udara yang beracun akibat kebocoran pada baterai! Pastikan telah menggunakan alat pelindung diri seperti sepatu *safety* dan masker.	
3.4.	**Pemeriksaan fisik baterai** Periksa apakah ada perubahan fisik baterai (gembung, retak, dll.)	Jika terjadi perubahan fisik baterai segera hubungi teknisi	
4. Combiner Box			
4.1.	**Periksa kondisi *combiner box*** - Periksa apakah ada lubang, air ataupun sarang binatang pada *combiner box* - Periksa apakah kondisi MCB, sekering, dan proteksi tegangan surja pada *combiner box* dalam keadaan baik - Periksa apakah sambungan kabel di *combiner box* aman, kering dan bersih	- Jika terdapat lubang pada *combiner box*, segera tutup menggunakan lem khusus *sealent* panel - Jika MCB atau sekering rusak segera ganti dengan jenis yang sama, tapi pastikan PLTS pada kondisi mati Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
5. Panel Distribusi AC dan DC			
5.1.	**Pemeriksaan kebersihan** Periksa apakah ada serangga atau kotoran lainnya.	Bersihkan dengan hanya mengunakan kuas kering Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	
5.2.	**Pencatatan Panel Distribusi AC** - Catat energi keluaran dari Panel Distribusi AC (kWh) pada pagi hari jam (06.00-07.00) Hitung selisih energi keluaran hari ini pada saat pengukuran pagi hari (kWh) dan satu hari sebelumnya (kWh)	Selisih energi keluaran hari ini didapat dengan mengurangkan nilai pencatatan kWh satu hari sebelumnya dengan nilai pencatatan kWh pada hari ini. Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan! manfaat pemeliharaan: memonitor kinerja PLTS setiap hari	
5.3.	**Periksa panel distribusi AC** - Periksa semua MCB, sekering, tegangan proteksi surja, dan energi meter pada panel distribusi AC masih dalam keadaan baik. - Pastikan tidak ada komponen yang terbakar atau terkelupas	Jika ada yang terbakar atau terkelupas segera perbaiki dengan isolasi listrik dan melakukan pergantian dengan jenis yang sama Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	
5.4.	**Periksa panel distribusi DC** - Periksa apakah semua MCB, atau sekering pada panel distribusi DC masih beroperasi - Pastikan tidak ada komponen yang terbakar atau terkelupas	Jika ada yang terbakar atau terkelupas segera perbaiki dengan isolasi dan melakukan pergantian dengan jenis yang sama Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
6.	**Jaringan Distribusi dan Lampu jalan**		
6.	**Periksa sambungan distribusi** - Periksa apakah semua kabel jaringan distribusi dalam keadaan baik dan lihat untuk keberadaan bekas goresan, pepohonan yang mengganggu, insulasi yang terbuka atau bentuk lain dari kerusakan - Periksa apakah ada sambungan liar - Periksa apakah tiang berdiri tegak lurus	- Perbaiki jika ada kabel yang tergores, dan bersihkan pepohonan yang melintang jaringan distribusi agar jika tumbang tidak merusak jaringan - Jika ada sambungan liar, segera putus dan koordinasikan dengan badan pengelola setempat untuk memberikan sanksi sesuai peraturan yang berlaku - Jika tiang miring, segera lakukan perbaikan Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	
7.	**Rumah Pembangkit & Rumah konsumen**		
7.1.	**Pemeriksaan kebersihan ventilasi rumah pembangkit** - Periksa apakah kasa ventilasi rumah pembangkit tertutup rapat dan bersih Periksa kebersihan setiap ventilasi yang terdapat dalam rumah pembangkit termasuk *exhaust fan* masih berfungsi	Jika dalam keadaan kotor, segera bersihkan **Catatan:** Jangan semprot/siram dengan air, gunakan kuas kering, kemoceng atau lap lembab yang telah diperas kering Risiko bahaya: hati-hati dengan logam bersudut tajam, dan kemungkinan bersentuhan dengan kabel bertegangan, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	
7.2.	**Pemeriksaan lubang kabel** Periksa apakah lubang kabel ke rumah pembangkit tertutup rapat	Jika terdapat lubang kabel di rumah pembangkit segera tutup agar tidak masuk hewan yang dapat merusak kabel atau perangkat elektrikal lainnya yang ada di dalam rumah pembangkit Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
7.3.	**Pemeriksaan rumah pembangkit** Periksa apakah pagar dan pintu rumah pembangkit dalam kondisi baik (dapat dikunci, tidak berkarat dan tidak ada celah binatang untuk masuk)	Perbaiki pagar dan pintu rumah pembangkit apabila tidak dapat dikunci dan bersihkan dari karat yang timbul jika ada	
7.4.	**Pemeriksaan atap rumah pembangkit saat hujan** Periksa apakah ada kebocoran atap rumah pembangkit saat hujan. Hal ini dapat diketahui dengan adanya rembesan air pada plafon rumah pembangkit.		
7.5.	**Pemeriksaan rumah konsumen** - Periksa apakah energi limiter, *grounding*, dan instalasi kabel rumah tangga terpasang dengan aman. - Periksa apakah ada kemungkinan pencurian listrik (pemasangan *jumper*, pengerusakan segel, penggantian MCB, dll.)	- Perbaiki instalasi kabel rumah tangga jika terlihat dalam kondisi tidak aman dan tidak tersambung *grounding* karena putus atau lepas - Jika terjadi pencurian listrik, koordinasi dengan pengelola untuk tindakan selanjutnya Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	

No.	Jenis kegiatan	Langkah pemeliharaan	Gambar
8.	**Seluruh komponen**		
8.1.	**Pemeriksaan sistem *grounding*** - Periksa apakah semua sistem pembumian terpasang dengan baik - Periksa apakah setiap kabel pembumian berwarna kuning pada setiap peralatan elektrikal yang ada di area rumah pembangkit seperti inverter, *solar charge controller*, panel distribusi, *combiner box* dan lainnya tidak ada terkelupas dan masih tersambung dengan baik dan terpusat ke bak kontrol.	Sambungkan kabel pembumian yang tidak terpasang, kabel yang terkelupas segera diisolasi listrik Risiko bahaya: awas tegangan tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan!	

BAB 5
PENANGANAN GANGGUAN DARURAT PLTS *OFF-GRID*

Pemeliharaan PLTS *off-grid* secara rutin, baik dan benar ditujukan demi menjaga kinerja pembangkit agar dapat beroperasi dengan normal. Meskipun PLTS *off-grid* telah dipelihara dengan baik, namun kemungkinan keadaan darurat dapat saja terjadi. Penanganan gangguan darurat yang bisa saja terjadi setiap saat harus dapat segera diantisipasi oleh pengelola PLTS *off-grid*. Dalam penanganan gangguan harus selalu diperhatikan aspek keselamatan. Bab ini menjelaskan beberapa kemungkinan dan cara penanganan gangguan darurat PLTS *off-grid.*

5.1 Tidak Ada Listrik?

Tidak ada listrik di satu pelanggan

1. Lihat cara memeriksa dan memperbaiki listrik satu rumah. Apakah masalah terselesaikan?
2. Jika ya, masalah terselesaikan
3. Jika tidak, periksa berapa tegangan (220 V) pada semua pelanggan yang tersambung pada cabang distribusi yang sama
4. Jika tegangan dibawah 220 V, minta bantuan teknisi
5. Jika tegangan 220 V, maka:
   - Periksa apakah ada kabel yang putus?
   - Periksa apakah ada terlalu banyak sambungan pelanggan?
6. Jika ya, maka:
   - Sambungkan kabel yang putus
   - Pertimbangkan untuk mengatur kembali batasan daya

Tidak ada listrik di beberapa pelanggan

1. Periksa berapa tegangan (220 V) pada semua pelanggan yang tersambung pada cabang distribusi yang sama
2. Jika tegangan dibawah 220 V, minta bantuan teknisi
3. Jika tegangan 220 V, maka:
   - Periksa apakah ada kabel yang putus?
   - Periksa apakah ada terlalu banyak sambungan pelanggan?
4. Jika ya, maka:
   - Sambungkan kabel yang putus
   - Pertimbangkan untuk mengatur kembali sambungan pelanggan

Tidak ada listrik di semua pelanggan

1. Periksa apakah saklar pemutus sirkuit (MCB) ke pelanggan yang ada di rumah pembangkit menyala?
2. Jika saklar pemutus sirkuit (MCB) ke pelanggan yang ada di rumah pembangkit menyala, maka periksa apakah baterai dan inverter beroperasi dengan baik?

2.1. Jika baterai dan inverter tidak beroperasi dengan baik, periksa lampu MERAH pada inverter baterai
2.2. Jika baterai dan inverter beroperasi dengan baik, maka periksa apakah ada kabel yang longgar atau rusak.
- Jika ya, perbaiki atau sambungkan kembali kabel
- Jika tidak, minta bantuan teknisi

3. Jika saklar pemutus sirkuit (MCB) ke pelanggan yang ada di rumah pembangkit tidak menyala, maka:
3.1. Nyalakan saklar pemutus sirkuit (MCB). Apakah mati lagi?
3.2. Jika tidak, tugas selesai.
3.3. Jika ya, maka:
- Periksa apakah ada kabel jaringan distribusi ke rumah pelanggan yang korslet/arus pendek, dan
- Periksa apakah kelebihan beban

3.4. Jika ya, maka:
- Perbaiki atau ganti kabel jaringan, dan
- Coba kurangi beban

5.2 Kejadian *Error* pada *Inverter* atau *Charge Controller* [2*]

5.2.1 Untuk sistem DC *Coupling*

Periksa lampu merah pada inverter atau charge controller

- Jika lampu merah menyala / kode *error* muncul pada ***inverter***; periksa apakah pesan *overload* muncul pada tampilan inverter
  - jika ya, periksa pemutus sirkuit (MCB) di rumah tangga dan coba kurangi beban

- jika lampu merah menyala / kode *error* muncul pada ***charge controller***:
  1. Periksa apakah pesan *baterry under voltage* atau *low battery voltage* muncul?
  2. Jika ya, apakah panel surya memberikan energi cukup di siang hari? Jika ya, periksa pemutus sirkuit (MCB) di rumah tangga dan coba kurangi beban
  3. Jika tidak, lakukan pemeriksaan listrik dengan:
     - periksa semua kabel di PLTS
     - matikan semua beban sampai baterai benar-benar pulih

catatan:
Tegangan baterai rendah menunjukkan baterai yang tidak terisi cukup. Pengisian penuh baterai mungkin memakan waktu beberapa hari.

5.2.2 Untuk sistem *AC coupling*

Periksa lampu merah pada *On-grid inverter* atau *battery inverter*

- Jika lampu merah menyala / kode *error* muncul pada inverter baterai, periksa apakah pesan *overload* muncul pada tampilan inverter
  - jika ya, periksa pemutus sirkuit (MCB) di rumah tangga dan coba kurangi beban

[2*] Untuk kode *error* lainnya dapat merujuk pada buku manual inverter yang digunakan.

- Jika lampu merah menyala / kode *error* muncul pada Inverter *ON-Grid* :
  1. Periksa apakah pesan *baterry under voltage* atau *low battery voltage* muncul?
  2. Jika ya, apakah panel surya memberikan energi cukup di siang hari? Jika ya, periksa pemutus sirkuit (MCB) di *box panel*
  3. Jika tidak, lakukan pemeriksaan listrik dengan:
     - periksa semua kabel di PLTS
     - matikan semua beban sampai baterai benar-benar pulih

5.3 Ruang Baterai Terlalu Panas

Bandingkan suhu udara di dalam ruang baterai dengan suhu udara luar. Jika suhu di dalam ruangan baterai jauh lebih panas dari pada suhu udara di luar, maka:

1. Periksa apakah ada bukaan ventilasi udara yang terhalang atau terhambat
2. Jika ya, hilangkan hambatan untuk memperbaiki aliran udara
3. Jika tidak, periksa apakah ada sumber panas lain di ruangan
4. Jika ada, matikan atau singkirkan sumber-sumber panas
5. Jika tidak, periksa apakah suhu di luar ruangan lebih rendah?
   - Jika ya, gunakan kipas angin listrik untuk memperbaiki aliran udara di ruangan baterai, atau dapat menggunakan tiang-tiang bambu yang disandarkan dengan longgar pada dinding luar ruangan baterai untuk menghalangi cahaya matahari langsung
   - Jika tidak, hubungi teknisi untuk meminta bantuan

5.4 Kebakaran

Kemungkinan penyebab kebakaran antara lain:
- Kelebihan beban
- Sambungan kabel yang longgar
- Korslet atau hubung-singkat arus listrik yang disebabkan oleh hewan (serangga, cicak, dll.) maupun kesalahan manusia.

Apabila terjadi indikasi kebakaran (bau terbakar, asap, percikan api) lakukan langkah cepat sebagai berikut:
1. Matikan semua MCB atau cabut NH *Fuse* pada panel DC
2. Pastikan lokasi penyebab kebakaran. Gunakan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) untuk memadamkan api
3. Setelah api padam, putar *handle Change Over Switch* (COS) ke posisi “0”.

BAB 6
PENCATATAN PENGOPERASIAN DAN PEMELIHARAAN

6.1 Tujuan Pencatatan

Pencatatan atau dokumentasi pengoperasian dan pemeliharaan PLTS *off-grid* dimaksudkan sebagai upaya memonitor, mengawasi dan mengevaluasi kondisi sistem pembangkit. Pencatatan dilakukan secara berkala oleh Pengelola dan Operator PLTS *off-grid* .

Pengelola PLTS *off-grid* dapat berupa:

a. Badan Usaha Milik Daerah (BUMD); atau
b. Badan Usaha Milik Desa (BUMDes); atau
c. Koperasi; dan/atau
d. masyarakat/kelompok masyarakat/swadaya masyarakat.

Pencatatan atau dokumentasi pengoperasian dan pemeliharaan PLTS *off-grid* ini dapat dijadikan sumber data dan informasi dalam menyusun laporan yang harus disusun Pengelola ataupun Pemerintah Daerah sesuai dengan Peraturan yang berlaku.

6.2 Format Pencatatan

Contoh penyusunan Pencatatan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS *off-grid* dapat dilihat pada contoh Tabel 5 dibawah. Formulir pelaporan yang terdapat pada Lampiran 9 buku ini dapat digandakan (difotokopi) guna keperluan pelaporan Pengelola kepada Dinas ESDM Provinsi secara berkala setiap 6 bulan sekali. Dalam rekap pencatatan ini, Pengelola harus melampirkan salinan (fotokopi) formulir pemeriksaan harian, mingguan, bulanan, dan 6 (enam) bulanan yang telah diisi secara rutin.

Tabel 5. Contoh Penyusunan Rekap Pencatatan/Laporan Pengelola PLTS

1. IDENTITAS PELAPOR

Nama Pengelola	:	**Pengelola PLTS Fotovoltaik *off-grid* Desa Hasinggaan, Kecamatan Sianjur Mulamula, Kabupaten Samosir, Provinsi Sumatera Utara**		
Tanggal Pelaporan	:	**1 Januari 2018**		
Nama pembuat laporan	:	**Pandapotan**		
Nama penanggungjawab	:	**Arga Bona**	Jabatan :	**Kepala Desa Hasinggaan**
No. Telp./HP./Kontak Penanggungjawab	:	**080123456789**		
Nama operator PLTS	:	**Poltak**		
No. Telp./HP./Kontak Operator PLTS	:	**089876543210**		

2 LOKASI ADMINISTRATIF

a.	Provinsi	:	**Sumatera Utara**
b.	Kabupaten / ~~Kota~~ ****	:	**Samosir**
c.	Kecamatan / ~~Distrik~~ ****	:	**Sianjur Mulamula**
d.	Desa / ~~Kelurahan~~ ****	:	**Hasinggaan**
e.	Dusun	:	**Dusun 4**

3 DATA PLTS

a.	Koordinat *(format derajat desimal *)*	:	Latitude :	**2.662351° LU**						
			Longitude :	**98.624367° LS**						
b.	Tahun Anggaran	:	**2013**							
c.	Kapasitas	:	**35 kWp**							
d.	Alokasi Energi (*energy limiter setting*) saat awal pembangunan	:	**Rumah Tangga**	:	**300**	**Wh/hari**				
			Fasilitas Umum	:	**600**	**Wh/hari**				
			Sambungan lainnya ***	:	**-**	**Wh/hari**				
e.	Total Jumlah Sambungan pada awal pembangunan	:	**70**	**sambungan**		sambungan rumah	**59**		Fasilitas umum	: **11**
								Rincian	Sekolah	: 5
									Tempat Ibadah	: 4
									Puskesmas/Pustu	: 1
									*** lainnya*	: 1 (dermaga)
			Sambungan lainnya ***	:	**-**					
f.	Jumlah PJU	:	**17**	**unit**						

4 KONDISI UMUM PLTS SAAT INI

a. Kondisi PLTS : ***Masih Beroperasi / ~~Tidak Beroperasi~~*** ****

b. Status Sambungan :

Total jumlah sambungan saat ini: **71 sambungan**

Keterangan: **1 KK pindah; Bertambah: 1 sekolah, 1 Koperasi kegiatan produktif pengolahan kopi**

Rincian Sambungan		Jumlah sambungan pada data awal pembangunan	Alokasi energi pada data awal	Jumlah sambungan pada data saat ini	Alokasi energi pada data saat ini
Sambungan Rumah		**59**	**300 Wh/hari**	**58**	**300 Wh/hari**
Fasilitas Umum		**11**	**600 Wh/hari**	**12**	**600 Wh/hari**
RINCIAN	Sekolah	5	**600 Wh/hari**	6	**600 Wh/hari**
	Tempat Ibadah	4	**600 Wh/hari**	4	**600 Wh/hari**
	Puskesmas/Pustu	1	**600 Wh/hari**	1	**600 Wh/hari**
	***lainnya*	1 (dermaga)	**600 Wh/hari**	1 (dermaga)	**600 Wh/hari**
Sambungan lainnya ***		**-**	**- Wh/hari**	1 (Koperasi kegiatan produktif pengolahan kopi)	**1000 Wh/hari**

c. Status Komponen PLTS secara umum :

NO.	Komponen	status saat ini		Keterangan
		Berfungsi	Tidak Berfungsi	
1	Modul surya	**173**	**2**	2 dari 175 modul retak
2	*Solar Charge Controller / ~~Grid tied inverter~~* ****	**9**	**1**	1 dari 10 *Solar Charge Controller* terbakar
3	*Inverter / ~~Battery Inverter~~* ****	**7**	**-**	seluruh inverter masih dalam kondisi baik
4	Baterai	**43**	**5**	5 dari 48 baterai mengalami kebocoran
5	Penyangga modul surya	**10**	**-**	seluruh penyangga modul surya masih dalam kondisi baik
6	*Combiner box*	**10**	**-**	beberapa *combiner box* berkarat
7	Sistem monitoring	**-**	**1**	1 set sistem monitoring mengalami error
8	Panel distribusi	**1**	**-**	panel distribusi sedikit berkarat namun masih dapat berfungsi normal
9	Pengkabelan	✓	**-**	sebagian kabel modul surya mengalami pengelupasan isolasi, namun secara keseluruhan sistem masih dapat beroperasi dengan normal
10	Rumah pembangkit	✓	**-**	keseluruhan rumah pembangkit masih dalam kondisi baik
11	Sistem pentanahan dan Penangkal Petir	✓	**-**	tiang penangkal petir dan baut kabel pentanahan sudah mulai berkarat, namun secara keseluruhan masih beroperasi. Baut kabel pentanahan perlu segera diganti dan tiang dicat ulang
12	Tiang distribusi Tegangan Rendah	**34**	**-**	Sebagian tiang sudah mulai berkarat namun secara keseluruhan tiang masih berfungsi dengan normal.
13	Lampu PJU	**9**	**8**	5 lampu LED PJU dalam kondisi mati, dan 3 sensor cahaya lampu PJU rusak
14	Energi limiter	**71**	**2**	2 unit energi limiter mengalami *error* dan telah dilakukan penggantian pada tahun 2016 memakai anggaran pengelolaan PLTS.

5 LAMPIRAN

Dilampirkan dokumen sebagai berikut:

1 Salinan (fotokopi) formulir daftar pemeriksaan harian PLTS Fotovoltaik *off-grid*
2 Salinan (fotokopi) formulir daftar pemeriksaan mingguan PLTS Fotovoltaik *off-grid*
3 Salinan (fotokopi) formulir daftar pemeriksaan bulanan PLTS Fotovoltaik *off-grid*
4 Salinan (fotokopi) formulir daftar pemeriksaan 6 bulanan PLTS Fotovoltaik *off-grid*

***** *Dituliskan berdasarkan data awal saat pembangunan. Lengkapi dengan arah lintang dan bujur.*
Contoh penulisan dalam satuan derajat desimal: [Latitude: **6.197626° LS** | Longitude: **106.841072° BT**]
****** *Diisi jika ada. Tambahkan keterangan seperti: pelabuhan/dermaga,dll.*
******* *Diisi jika ada. Tambahkan keterangan seperti: kegiatan produktif, dll.*
******** *Coret yang tidak perlu*

Hasinggaan , 1 Januari 2018

Pembuat Laporan,

Pandapotan

Mengetahui,
Penanggungjawab,

Arga Bona
Kepala Desa Hasinggaan

DAFTAR ISTILAH

***array* (larik)**
gabungan beberapa *string*

baterai
alat yang terdiri dari satu atau lebih sel dimana energi kimia diubah menjadi energi listrik dan digunakan sebagai penyimpan energi listrik

combiner box
kotak/perangkat yang menggabungkan keluaran kabel listrik dari beberapa *string* modul surya untuk dihubungkan ke *inverter*/ *controller* serta dilengkapi dengan alat perlindungan pemutus sirkuit dari kondisi arus berlebih dan *arrester* sebagai perlindungan dari tegangan berlebih

controller
suatu perangkat keras yang berfungsi sebagai alat kontrol pengisian dan pengeluaran arus listrik pada baterai

distribusi tenaga listrik *(distribution of electricity)*
transfer tenaga listrik ke pelanggan di daerah konsumen

ground-mounted
dipasang di atas permukaan tanah

inverter
adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik

irradiance
daya radiasi matahari persatuan luas

jaringan tegangan rendah (JTR)
jaringan listrik yang berfungsi mengalirkan listrik pada tegangan rendah
CATATAN beberapa tingkat tegangan yang digunakan untuk distribusi tenaga listrik dan mempunyai batas atas yang umumnya diterima sebesar 1000 V a.b. (Volt arus bolak-balik)

kemoceng / bulu ayam
pembersih debu dari bulu ayam dan sebagainya

konversi tenaga listrik *(conversion of electricity)*
perubahan karakteristik bentuk dan frekuensi tegangan dan arus dengan menggunakan konverter

modul surya
beberapa sel surya yang digabungkan menjadi sebuah perangkat yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik

off grid
sistem kelistrikan yang tidak terhubung dengan jaringan listrik umum

on grid
sistem kelistrikan yang terhubung dengan jaringan listrik umum

panel distribusi
perangkat dari sistem kelistrikan yang membagi daya listrik ke beberapa penyulang dan memberikan perlindungan pemutus sirkuit dan *arrester* pada setiap penyulang

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) fotovoltaik
sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel fotovoltaik

pembangkitan tenaga listrik *(generation of electricity)*
suatu proses, energi listriknya diperoleh dari suatu energi bentuk lain

penyangga *array* modul
perangkat yang berfungsi sebagai tempat pemasangan *array* modul

pyranometer
perangkat yang berfungsi untuk mengukur besar *irradiance* matahari

rectifier
peralatan listrik yang mengubah arus AC menjadi arus DC, dengan arus mengalir hanya satu arah

roof-top
dipasang di atas permukaan atap bangunan

sistem arus bolak-balik *(alternating current system)*
sistem a.b.b. *(a.c. system)*
sistem listrik yang disulang oleh tegangan bolak-balik

sistem arus searah *(direct current system)*
sistem a.s *(d.c. system)*
sistem listrik yang disulang oleh tegangan searah

solar charge regulator
perangkat yang berfungsi untuk mengatur pengisian energi listrik yang bersumber dari modul surya ke baterai

solar junction box
kotak/perangkat tempat keluaran modul surya

string
gabungan dari beberapa modul surya yang disusun secara seri

tegangan rendah (TR) *(low voltage (abbreviation: LV))*
beberapa tingkat tegangan yang digunakan untuk distribusi tenaga listrik dan mempunyai batas atas yang umumnya diterima sebesar 1000 V a.b.b

DAFTAR SINGKATAN

a.b.b. / AC	Arus Bolak Balik / *Alternating Current*
a.s. / DC	Arus Searah / *Direct Current*
ACPDB	*Alternating Current Power Distribution Box* / Panel Distribusi AC
MCB	*Miniature Circuit Breaker*
MPPT	*Maximum Power Point Tracking*
JTR	Jaringan Tegangan Rendah
PLTS	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
TR	Tegangan Rendah

DAFTAR PUSTAKA

Hadiyanto, Didik dan Sulardi, Alat Ukur, Pengukuran Listrik dan Alat Kerja Instalasi Daya Fasa Tiga, PPSDM Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2016

Hadiyanto, Didik dan S., Todo Hotma Tua, Jenis Gangguan, PPSDM Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2016

Hadiyanto, Didik dan S., R. Waluyo Jati, Keselamatan Ketenagalistrikan (PLTS Terpusat), PPSDM Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2016

Khulaemi, Ahmad, Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), PPSDM Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2016

Modul Training PLTS - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Modul Pengoperasian dan Pemeliharaan − PT. Industri Telekomunikasi Indonesia (Persero)

Modul Pengoperasian dan Pemeliharaan − PT. Surya Energi Indotama

Modul Pengoperasian dan Pemeliharaan - PT. Gerbang Multindo Nusantara

Modul Pengoperasian dan Pemeliharaan - PT. Indo Electric Instrument

N., Wahyudi Sarimun, Alat Ukur dan Pengukuran Besaran Listrik, PPSDM Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2016

Nasution, Zulkarnain dan Santoso, Imam Budi, Komponen PLTS Terpusat, PPSDM Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2016

Nasution, Zulkarnain dan Santoso, Imam Budi, Kelembagaan dan Pengelolaan PLTS Terpusat, PPSDM Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2016

S., Todo Hotma Tua, Pengoperasian PLTS, PPSDM Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2016

Simarmata, Todo dan Saragih, Budiman R., Teori Dasar Listrik, PPSDM Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2016

SNI 8395:2017, Panduan studi kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) fotovoltaik

SNI 04-6267.601-2002, Istilah teknik ketenagalistrikan - Bab 601: pembangkitan, penyaluran dan pendistribusian tenaga listrik - Umum

https:// id.wikibooks.org/ wiki/ Rekayasa_ Lalu_Lintas/ Penerangan_jalan

http://teknikelektronika.com

http://www.diffen.com/difference/Converter_vs_Inverter

LAMPIRAN

Lampiran 1

Teori Dasar Listrik, Pengenalan Alat ukur dan Pengukuran Besaran Listrik

Teori Dasar Listrik, Pengenalan Alat Ukur dan Pengukuran Besaran Listrik

I. Teori Dasar Listrik

A. Umum

Seluruh benda atau materi, yang dalam kondisi normal berwujud padat seperti besi, kayu dan pakaian, atau yang berwujud cairan seperti air dan minyak, atau yang berwujud gas seperti udara dan uap air merupakan komposisi dari berbagai substansi yang membentuk obyek secara fisik. Pada hakekatnya materi terdiri dari substansi dasar yang disebut elemen atau unsur. Ada 110 unsur yang telah ditemukan oleh para ahli di jagat raya ini. Unsur yang membentuk suatu materi terdiri dari atom. Atom merupakan partikel terkecil dari suatu unsur yang dapat berdiri sendiri atau berupa tunggal dan dapat pula eksis berupa kombinasi atau campuran dari berbagai unsur. Semua materi terdiri dari atom-atom sejenis atau kombinasi dari beberapa atom-atom, dan seluruh atom merupakan struktur listrik.

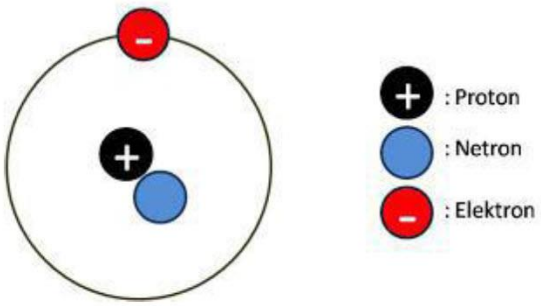
Suatu zat terdiri atas partikel-partikel kecil yang disebut atom. Atom berasal dari kata atomos, yang artinya tidak dapat dibagi-bagi lagi. Tetapi, dalam perkembangannya ternyata atom ini masih dapat diuraikan lagi. Atom terdiri atas dua bagian, yaitu inti atom dan kulit atom. Inti atom bermuatan positif, sedangkan kulit atom terdiri atas partikel-partikel bermuatan negatif yang disebut elektron. Inti atom tersusun dari dua macam partikel, yaitu proton yang bermuatan positif dan netron yang tidak bermuatan (netral).

Nukleus terletak pada pusat atom, oleh karena itu sering disebut sebagi inti atom. Nukleus terdiri dari proton dan neutron. Muatan listrik yang dimiliki oleh proton sama dengan muatan yang dimiliki oleh elektron tetapi berbeda polaritas. Elektron bermuatan negatif, sedangkan proton bermuatan positif. Jumlah proton pada nukleus yang membedakan unsur satu dengan unsur lainnya.

Suatu atom terdiri dari:

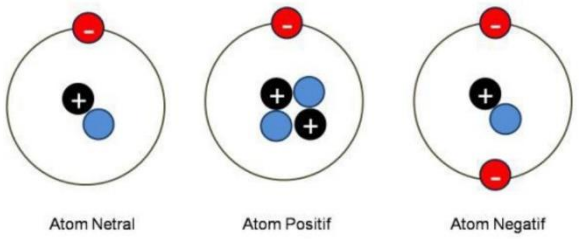
- Inti atom yang disebut nukleus. Nukleus terdiri dari dua partikel yang berkaitan dengan erat, disebut proton yang bermuatan positif dan neutron tidak bermuatan.
- Elektron yang bermuatan negatif, yang pergerakannya berbentuk elip mengitari inti atom. Elektron yang terletak pada lintasan paling luar disebut elektron bebas.

Suatu atom dikatakan netral apabila di dalam intinya terdapat muatan positif (proton) yang jumlahnya sama dengan muatan negatif (elektron) pada kulitnya.



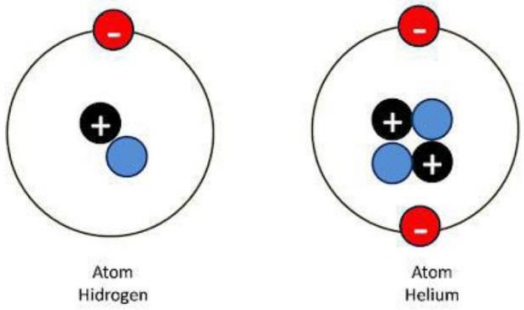
Gambar 1.1. Susunan sebuah atom

Suatu atom dikatakan bermuatan positif apabila jumlah muatan positif (proton) pada inti lebih banyak daripada muatan negatif (elektron) pada kulit atom yang mengelilinginya. Suatu atom dikatakan bermuatan negatif apabila jumlah muatan positif (proton) pada inti lebih sedikit daripada jumlah muatan negatif (elektron) pada kulit atom.



Gambar 1.2. Susunan Atom Positif, Negatif, dan Netral

Atom yang paling sederhana adalah atom hidrogen yang hanya tersusun dari satu proton dan satu elektron. Karena jumlah proton dan elektronnya sama, maka atom hidrogen dikatakan sebagai atom netral. Atom helium terdiri dari dua proton, dua neutron dan dua elektron. Karena jumlah proton dan jumlah elektronnya sama, maka atom helium juga dikatakan sebagai atom netral.



Gambar 1.3. Susunan atom, hidrogen, dan helium

Muatan listrik yang senama (positif dan positif atau negatif dan negatif) mempunyai sifat tolak menolak. Muatan listrik yang tidak senama (positif dan negatif) mempunyai sifat tarik menarik. Proton di dalam inti saling menolak, tetapi dengan elektron saling tarik menarik. Karena gaya tarikan yang kuat inilah elektron tidak terlepas dari lintasannya. Tetapi pada lintasan terluar yang terjauh jaraknya dari inti, tarikan antara elektron dan proton kurang kuat. Elektron pada lintasan terluar dapat keluar dari ikatan atomnya bila terpengaruh oleh suatu energi. Elektron yang keluar dari ikatan atomnya disebut elektron bebas.

Elektron bebas inilah yang dapat menghasilkan energi listrik. Listrik secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu listrik statis dan listrik dinamis.

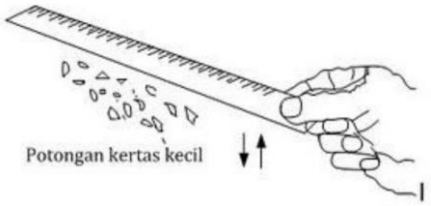
A.1. Listrik Statis

Listrik statis adalah suatu kumpulan muatan listrik dalam jumlah tertentu yang tidak mengalir atau tetap (statis), tapi jika terjadi pengosongan muatan akan memakan waktu yang cukup singkat. Atau definisi listrik statis yang lainnya yaitu suatu fenomena kelistrikan yang dimana muatan listriknya tidak bergerak dan biasanya terdapat pada benda yang bermuatan listrik.

Dapat dikatakan juga listrik statis timbul karena adanya fenomena dimana benda-benda yang memiliki aliran listrik saling berpautan tanpa adanya sumber daya listrik atau dengan kata lain benda tersebut dapat menghasilkan proton maupun elektron tanpa menggunakan elemen pembangkit energi listrik. Listrik statis dapat ditimbulkan oleh dua benda yang memiliki muatan listrik berbeda.

Muatan listrik ada 2 macam diantaranya muatan positif (proton) dan muatan negatif (elektron). Benda yang memiliki muatan positif dan negatifnya sama disebut dengan benda netral. Ada juga benda yang memiliki muatan positif dan muatan negatif. Benda disebut bermuatan positif jika benda tersebut memiliki jumlah proton lebih banyak daripada jumlah elektorn, lalu benda disebut bermuatan negatif jika benda tersebut memiliki jumlah elektorn lebih banyak daripada jumlah proton.

Salah satu contoh peristiwa timbulnya listrik statis yaitu penggaris plastik yang digosok-gosokanan pada rambut kering, lalu di dekatkan pada kertas yang sudah dirobek kecil-kecil maka kertas tersebut akan tertarik oleh penggaris jadi seolah-olah penggaris seperti magnet yang dapat menarik benda, padahal itu merupakan adanya listrik statis. Kenapa bisa seperti itu? sebab serpihan kertas yang asalnya bermuatan netral akan terinduksi akibat tertarik muatan negatif yang terdapat pada penggaris.



Gambar 1.4. Listrik Statis (Kertas dan Penggaris)

Adapun beberapa contoh lain dari listrik statis yang dapat ditemui dalam rutinitas sehari-hari, yang diantaranya sebagai berikut ini:

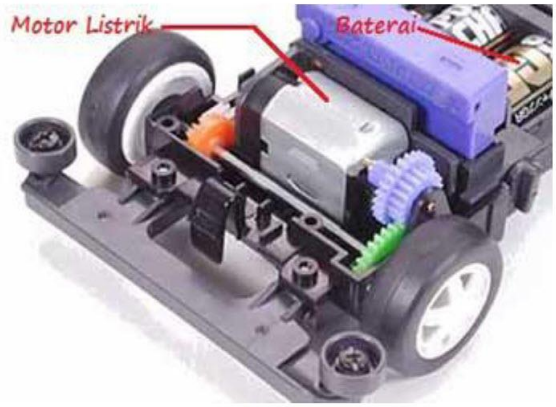
- Saat kita menyisir rambut maka tanpa kita sadari terkadang rambut kita akan terbawa berdiri sendiri siring dengan gerakan sisir.
- Kain sutra yang digoso-gosok pada batang kaca. Pada peristiwa ini benda tersebut akan bereaksi saling tarik-menarik. Kenapa bisa seperti itu? setelah keduanya saling digosok-gosokan akan terjadi loncatan elektron dari batang kaca ke kain sutera sehingga mengakibatkan batang kaca bermuatan positif sedangkan kain sutera bermuatan negatif, hal ini hampir sama seperti pada penggaris yang digosok-gosokan pada rambut.
- Penggaris plastik yang digosok-gosokan pada kain woll. Kedua benda tersebut umumnya memiliki muatan netral, tapi saat keduanya digosok-gosokan akan terjadi loncatan elektron yang berasal dari kain woll ke penggaris plastik dan penggaris plastik menjadi bermuatan negatif sedangkan kain woll menjadi bermuatan positif.
- Ketika mendekatkan tangan ke layar TV yang baru dimatikan. Pada peristiwa ini jika diperhatikan bulu-bulu atau rambut yang ada pada tangan akan berdiri, hal seperti itu diakibatkan karena adanya listrik statis.

Itulah beberapa contoh listrik statis, sebenarnya masih banyak lagi peristiwa yang dapat menimbulkan listrik statis yang ada di sekitar kita seperti mislanya fenomena timbulnya petir saat hujan badai dan lain-lain.

A.2. Listrik Dinamis

Listrik Dinamis adalah muatan listrik atau elektron yang dapat bergerak atau mengalir dalam rangkaian listrik. Arus listriknya merupakan aliran muatan listrik atau elektron yang umumnya melewati kawat penghantar tiap satuan waktu.

Contoh dari fenomena listrik dinamis salah satunya mainan mobil-mobilan yang menggunakan batu baterai misalnaya seperti pada mainan Mini 4 -WD pada Gambar 1.5. Dapat diperhatikan pada mobil-mobilan tersebut energi listrik (electron) pada batu baterai akan mengalir ke dalam motor listrik. Energi listrik (electron) ini digunakan untuk menggerakan motor listrik sehingga mobil-mobilan tersebut dapat bergerak.



Gambar 1.5. Contoh terjadinya listrik dinamis pada mainan mobil-mobilan

Dapat disimpulkan berputarnya roda karena digerakan oleh muatan listrik yang berasal dari baterai. Coba tekan atau pindahnkan saklar pada posisi ON, sehingga kedua ujung baterai dapat terhubung dengan motor listrik yang ada pada mobil-mobilan tersebut. Pada posisi ini motor listrik akan menyala atau hidup, sehingga roda akan berputar dan mobil-mobilanpun dapat melaju atau bergerak. Sedangkan pada saat saklar di pindahkan ke posisi OFF, hubungan baterai dengan motor listrik akan terputus sehingga pada posisi ini motor listrik tidak dapat hidup, akibatnya roda tidak dapat berputar sehingga mobil-mobilan tidak dapat bergerak. Prinsip kerja seperti ini dapat terjadi juga pada lampu senter yang menggunakan batu baterai.

Dapat disimpulkan bahwa pada kejadian tersebut karena adanya gejala listrik. Gejala listrik dapat terbukti dengan bergeraknya motor listrik pada mobil-mobilan sehingga membuat roda berputar dan jika pada lampu senter lampunya dapat menyala. Motor listrik dan lampu senter dapat menyala karena adanya aliran elektron. Elektron yang mengalir berarti elektron-elektron tersebut terus bergerak (dinamis). Karena itu gejala listrik yang timbul pada fenomena tersebut disebut dengan listrik dinamis. Adapun beberapa contoh lain dari fenomena listrik dinamis yang dapat terjadi pada peralatan atau benda-benda seperti: komputer, radio, bor listrik, kulkas, Rice cooker, televisi dan lain-lain.

Listrik yang kita gunakan setiap hari dihasilkan dari pembangkit listrik dengan mengubah sumber daya seperti air, matahari, batubara, minyak, gas alam dan angin menjadi tenaga listrik. Hal ini dihasilkan oleh magnet besar yang berputar dalam

kumparan kawat. Tekanan uap yang tinggi atau air digunakan untuk memutar turbin - kipas besar - melekat pada generator untuk mendapatkan berputar magnet. Arus listrik dihasilkan selama magnet berputar di dalam loop kawat.

Perbedaan listrik statis dan dinamis :

1. Aliran atau perpindahan elektron secara kontinyu atau terus-menerus terjadi pada listrik dinamis sedangkan pada listrik statis tidak terjadi. Hal seperti ini terjadi pada listrik dinamis karena elektron yang ada pada konduktor (penghantar arus listrik) memang sangat mudah untuk berpindah. Sedangkan perpindahan elektron yang terjadi pada listrik statis disebabkan oleh gesekan (dapat terjadi pada beberapa kasus karena induksi) dan tidak mengalir secara kontinyu.

2. Listrik dinamis dapat diukur dengan alat ukur yang telah ditentukan. Sedangkan listrik statis susah sekali untuk diukur, seperti misalnya sangat sulit untuk mengukur: arus listrik, tegangan listrik, hambatan maupun daya listrik yang terdapat pada benda (seperti pada penggaris plastik yang dapat menarik kertas yang telah disobek kecil-kecil).

3. Listrik dinamis hanya terjadi pada penghantar konduktor saja, sedangkan fungsi dari isolatornya untuk mencegah pengguna dari sengatan listrik.

B. Besaran dan Satuan

B.1. Umum

Besaran adalah segala sesuatu yang dapat diukur atau dihitung, dinyatakan dengan angka atau nilai dan setiap besaran pasti memiliki satuan. Beberapa contoh besaran dalam ilmu kelistrikan dan elektronika adalah Tegangan, Arus listrik, Hambatan, Frekuensi, Daya Listrik, dan lain-lain.

Satuan adalah acuan yang digunakan untuk memastikan kebenaran pengukuran atau sebagai pembanding dalam suatu pengukuran besaran. Satuan ini dalam bahasa Inggris sering disebut dengan *Unit*. Beberapa contoh satuan dalam ilmu kelistrikan dan elektronika adalah Ampere, Volt, Ohm, Joule, Watt, dan lain-lain.

B.2. Sistem Satuan Internasional

Sistem Satuan Internasional (SI) adalah bentuk modern dari sistem metrik dan saat ini menjadi sistem pengukuran yang paling umum digunakan. Pada awalnya sistem ini merupakan sistem MKS, yaitu panjang (meter), massa (kilogram), dan waktu (detik/sekon).

Dalam sistem SI terdapat 7 (tujuh) satuan dasar/ satuan pokok, dan 2 (dua) satuan tanpa dimensi. Ketujuh satuan dasar/pokok SI tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Tujuh satuan dasar/pokok dalam Sistem SI

No.	Besaran dasar	Nama unit	Lambang unit	Simbol besaran
1	Panjang	Meter	m	l
2	Massa	Kilogram	kg	m
3	Waktu	Second	s	t
4	Suhu	Kelvin	K	T
5	Arus listrik	Ampere	A	i
6	Intensitas cahaya	Candela	cd	j
7	Jumlah zat	Mole	Mol	n

Sementara 2 (dua) satuan SI tanpa dimensi adalah *Radian* (**rad**) dan *Steradian* (**sr**).

B.3. Satuan Dasar dan Satuan Turunan dalam Ilmu Listrik

Pada ilmu listrik, satuan dasar/pokok dalam sistem SI untuk arus listrik adalah **Ampere** (lambang satuan : **A** simbol besaran : **i**).

Satuan turunan adalah satuan yang diturunkan dari satuan dasar/pokok. Berikut beberapa satuan turunan yang ada dalam sistem kelistrikan:

- Tegangan listrik/Beda Potensial [E / V / U Volt (V)]
- Muatan listrik Q Coulomb (C)
- Tahanan listrik R Ohm (Ω)
- Daya Listrik P Watt (W)
- Usaha Listrik (energi) W Joule (J)

- Kapasitansi C Farad (F)
- Konduktansi G Siemens (S)
- Induktansi L Henry (H)
- Frekuensi f Hertz (Hz)
- Fluksi Magnet ø Weber (Wb)
- Fluksi Cahaya ø Lumen (Lm)
- Iluminasi E Lux (Lx)

Berbagai macam besaran listrik dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Macam-macam Besaran dan Satuan Listrik

Besaran listrik	Satuan	Alat ukur
Arus	Amper	Ampere meter
Tegangan	Volt	Volt meter
Tahanan	Ohm	Ohm meter
Daya semu	VA	
Daya aktif	Watt	Watt meter
Daya reaktif	VAR	VAR meter
Energi aktif	Wh	KWh meter
Energi reaktif	VARh	KVARh meter
Faktor daya	-	Cos φ meter
Frekuensi	Hz	Frekuensi meter

Dalam penulisan satuan SI juga dikenal Prefix/ Awalan. Prefix satuan SI adalah awalan yang digunakan dalam sistem satuan SI untuk membentuk sebuah satuan yang menandakan kelipatan dari satuan tersebut. Tabel 1.3. adalah prefix satuan SI yang pada umum digunakan dalam ilmu kelistrikan dan elektronika.

Tabel 1.3. Prefix beberapa satuan dan simbol dalam ilmu listrik

Besaran Listrik	Satuan Dasar	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{3}	10^{6}	10^{9}
Arus	A				mA	kA		
Tegangan	V				mVolt	kV		
Tahanan	Ω			µΩ	mΩ	kΩ	MΩ	GΩ
Induktansi	H			µH	mH			
Kapasitansi	F	nF	pF	µF				
Daya semu	VA					kVA	MVA	
Daya aktif	Watt					KW	MW	GW
Daya reaktif	VAR					kVAR	MVAR	
Energi aktif	Wh					kWh	MWh	GWh
Energi reaktif	VARh					kVARh	MVARh	
Faktor daya	-	Tidak mempunyai satuan.						
Frekuensi	Hz					kHz	MHz	

Contoh-contoh penulisan satuan-satuan tersebut diantaranya seperti berikut ini :

- $1kV = 1$ kilo Volt $= 1.000$ Volt
- $1mA = 1$ mili Ampere $= 1/1000$ Ampere atau 0,001 Ampere
- $1M\Omega = 1$ Mega Ohm $= 1.000.000$ Ohm
- $1\mu F = 1$ micro Farad $= 1/1.000.000$ Farad

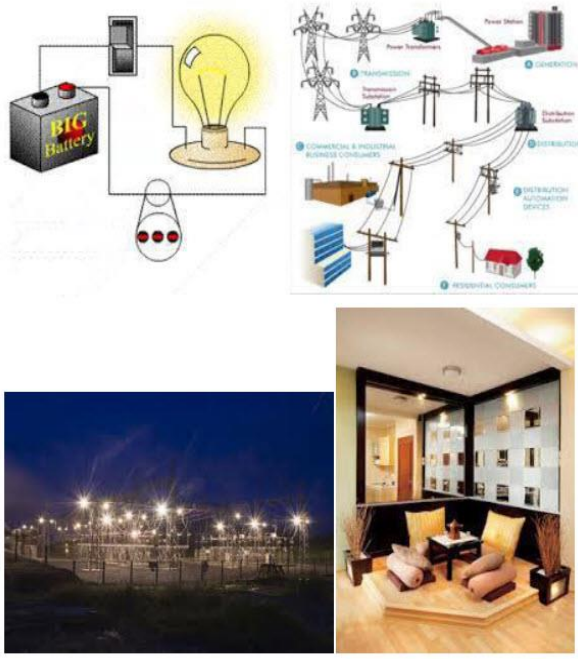
B.3.1. Arus Listrik

Di dunia kita, hampir semua pengetahuan faktual selalu terjadi dalam dua hal yang berlawanan. Misalkan ada kasar ada lembut, ada panas dan ada dingin. Begitu juga di dunia listrik, jika ada listrik statis pasti ada listrik dinamis. Karena sifatnya yang statis maka fenomena listrik statis tidak dapat dimanfaatkan untuk keperluan yang membutuhkan aktivitas secara terus-menerus atau kontinyu. Kalau listrik statis tidak dapat dimanfaatkan energinya maka listrik dinamis pasti dapat dimanfaatkan. Energi yang ditimbulkan oleh fenomena listrik dinamis digunakan untuk keperluan yang lebih produktif. Tentunya kalian setuju dengan pernyataan tersebut. Dalam alam dunia nyata, listrik dinamis lazim disebut sebagai listrik. Jadi jika kita berbicara tentang listrik berarti kita berbicara tentang listrik dinamis.

Seperti yang telah kita ketahui listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sangat luas pengguaannya di dunia ini (bahkan saat ini sudah digolongkan sebagai energi primer). Bentuk energi ini sangat mudah diubah menjadi bentuk energi

lain, seperti energi gerak, panas, suara maupun kimia. Konversi energi listrik ini sangat membantu manusia dalam kegiatan sehari-harinya. Jadi tidak heran bila saat ini energi listrik digolongkan sebagai energi primer.

Dalam peri kehidupan modern seperti yang kita alami saat ini, sangat sulit memisahkan listrik dari peri kehidupan. Harus kita akui bahwa kita sangat tergantung pada listrik, bahkan lebih daripada yang kita sadari. Kita memerlukan listrik untuk memperoleh informasi, berkomunikasi lewat telepon dan internet, atau sekedar untuk memperoleh cahaya yang nyaman di malam hari. Namun, listrik memiliki peran yang lebih penting dari pada itu.



Gambar 1.6. Sumber energi listrik, dan manfaatnya

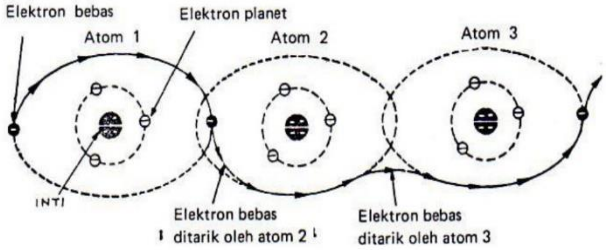
Pertanyaan yang lebih menarik dan menantang untuk didiskusikan adalah, apakah sebenarnya listrik itu dan mengapa begitu mudahnya untuk mengkonversi energi ini menjadi bentuk energi lain?

Listrik selalu ada di sekitar kita. Dengannya kita dapat melakukan apa saja dengan sangat mudah dan nyaman. Menghidupkan ratusan mesin yang mewarnai kehidupan kita. Mesin cuci, pendingin ruangan / *Air Conditioner* (AC), televisi, telepon genggam / *handphone*, dan komputer adalah sedikit dari peralatan elektronik yang selalu ada di dekat kita. Tidak bisa dibayangkan, bila dunia tanpa listrik. Tentunya semua peralatan canggih yang kita miliki saat ini tidak berjalan. Tanpa listrik, dunia akan terasa mati.

Sifat utama elektrostatis adalah tidak mungkin mempertahankan perpindahan elektron dalam rentang waktu lama, sehingga pergerakan elektron tidak dapat dipergunakan untuk keperluan yang lebih bermanfaat. Untuk dapat memanfaatkan pergerakan elektron pada hal yang lebih berguna diperlukan adanya pergerakan elektron secara kontinu. Untuk selanjutnya pergerakan elektron bebas secara terus menerus (kontinu) sering disebut sebagai arus elektron.

Dengan melakukan pengkajian yang lebih mendalam tentang pengetahuan konseptual terkait pergerakan elektron bebas secara terus-menerus, maka kita akan dapat memperjelas makna arus listrik. Ketika kita berbicara mengenai listrik maka di dalam bayangan kita adalah adanya pergerakan atau perpindahan elektron bebas (arus elektron) secara kontinu. Untuk keperluan praktis, maka arus pergerakan elektron lazim disebut sebagai arus listrik, tetapi dengan kesepakatan bahwa arah arus elektron searah dengan pergerakan elektron, sedang arah arus listrik berlawanan dengan arah arus elektron.

Arus elektron adalah perpindahan elektron bebas dalam suatu penghantar yang dihubungkan pada kutub positif sebuah baterai (bagian yang kekurangan elektron) dan kutub negatif sebuah baterai (bagian yang kelebihan elektron). Gambar 1.7 menunjukkan jalannya elektron bebas yang berpindah dari atom ke atom di dalam penghantar.



Gambar 1.7. Perpindahan Elektron

Pada Gambar 1.7 atom nomor 2 yang kekurangan elektron menarik elektron bebas dari atom nomor 1. Atom nomor 3 yang kekurangan elektron menarik elektron bebas tadi dari atom nomor 2,

begitu seterusnya elektron bebas berpindah dari atom ke atom sepanjang penghantar, merupakan arus elektron. Jadi arus elektron terjadi bila ada proses perpindahan elektron. Arus listrik mengalir dari titik positif ke titik negatif. Arah arus listrik berlawanan dengan arah perpindahan elektron. Kuat arus listrik tergantung pada banyak sedikitnya elektron bebas yang pindah melewati suatu penampang dalam satu satuan waktu. Satuan untuk banyaknya elektron ialah *coulomb*. Satu *coulomb* sama dengan 6,28 x 10^{18} elektron. Kuat arus listrik mempunyai satuan Ampere (Coulomb/second).

Untuk menghasilkan arus listrik yang berdaya guna atau bermanfaat seperti yang kita rasakan dalam kehidupan kita sehari-hari, maka harus diproduksi aliran elektron yang konstan dan kontinu.

Perpindahan elektron dapat terjadi dalam beberapa cara, tetapi yang paling penting adalah melalui tiga cara, yakni gesekan, kimiawi, dan induksi magnet. Cara gesekan akan menimbulkan gaya elektrostatik, cara kimiawi menghasilkan listrik pada baterai/akumulator, dan cara induksi magnet menghasilkan listrik pada sebuah generator.

Arus listrik adalah gerakan muatan listrik di dalam suatu penghantar pada satu arah akibat pengaruh gaya dari luar. Karena secara alamiah di dalam suatu bahan atau zat, pergerakan muatan tidak menentu arahnya. Muatan listrik dapat berupa elektron, ion atau keduanya. Arus listrik dapat terjadi dengan media zat padat, zat cair, ataupun gas.

Seperti telah kita ketahui, bahwa muatan listrik diukur dalam satuan coulomb (C), dimana:

1 Coulomb = jumlah muatan yang dimiliki oleh 6,24 x 10^{18} elektron,

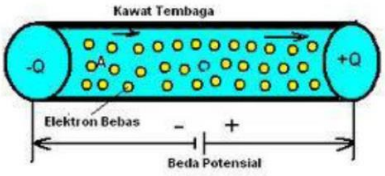
dan muatan dari 1 (satu) elektron adalah:
e = 1,602 x 10^{-19} Coulomb.

1 (satu) Coulomb adalah hitungan sejumlah elektron yang melewati suatu penghantar/konduktor setiap detiknya, sedangkan laju aliran arus konstannya disebut 1 (satu) ampere.

Arus listrik dalam penghantar adalah pergerakan terarah sejumlah elektron dari ujung satu ke ujung lainnya. Jumlah elektron dalam satu Coulomb sama dengan 6,24 x 10^{18} buah elektron. Aliran satu Coulomb per detik sama dengan satu amper. Ini seperti laju aliran air dalam galon per menit.
Coulomb mengukur jumlah elektron. Amper mengukur laju aliran arus listrik. Amper tidak mengukur elektron. Tetapi Amper memiliki hubungan 1/1 dengan Coulomb. Artinya jika ada 10 ampere mengalir melewati titik dalam satu detik sama dengan 10 Coulomb.

Dari penjelasan diatas dapat didefinisikan bahwa satuan arus listrik adalah coulomb per detik. Namun satuan arus listrik yang umum digunakan yaitu ampere, dimana satu coulomb per detik = satu ampere atau I = Q/t dimana I adalah lambang dari arus listrik.

Satuan dari arus listrik adalah ampere yang diambil dari nama penemu Andre Marie Ampere (1775-1836). Gerakan elektron pada suatu benda selama periode waktu tertentu akan menimbulkan suatu energi yang kemudian disebut sebagai arus listrik.



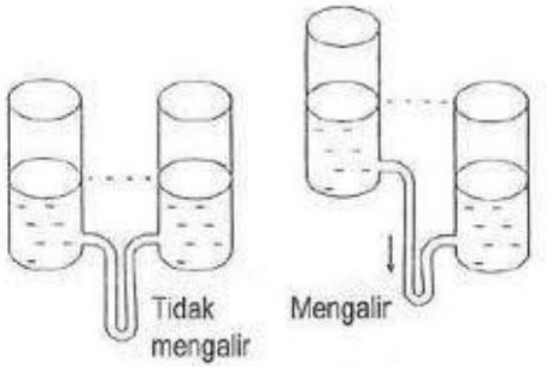
Gambar 1.8. Gerakan elektron pada suatu konduktor

B.3.2. Tegangan Listrik atau Potensial Listrik

Sebelum membahas tentang potensial listrik, marilah tinjau ulang pemahaman kalian tentang arus listrik. Semua tentu paham bahwa arus listrik terjadi karena adanya aliran elektron dimana setiap elektron mempunyai muatan yang besarnya sama. Jika kita mempunyai benda bermuatan negatif berarti benda tersebut mempunyai kelebihan elektron. Derajat termuatinya benda tersebut diukur dengan jumlah kelebihan elektron yang ada.

Potensial listrik lazim juga disebut sebagai tegangan listrik. Akan mudah menganalogikan aliran listrik dengan aliran air. Misalkan kita mempunyai dua tabung yang dihubungkan dengan pipa seperti pada gambar. Jika kedua tabung ditaruh di atas meja maka permukaan air pada kedua tabung akan sama dan dalam hal ini tidak ada aliran air dalam pipa. Jika salah satu tabung diangkat maka dengan

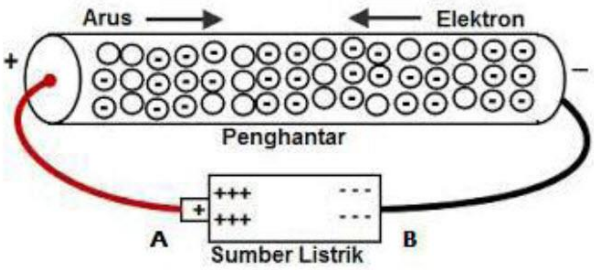
sendirinya air akan mengalir dari tabung tersebut ke tabung yang lebih rendah. Makin tinggi tabung diangkat makin deras aliran air yang melalui pipa.



Gambar 1.9. Energi Potensial Air

Terjadinya aliran tersebut dapat dipahami dengan konsep energi potensial. Tingginya tabung menunjukkan besarnya energi potensial yang dimiliki. Yang paling penting dalam hal ini adalah perbedaan tinggi kedua tabung yang sekaligus menentukan besarnya perbedaan potensial. Jadi semakin besar perbedaan potensialnya semakin deras aliran air dalam pipa. Konsep yang sama akan berlaku untuk aliran elektron pada suatu penghantar. Yang menentukan seberapa besar arus yang mengalir adalah besarnya beda potensial (dinyatakan dengan satuan volt). Jadi untuk sebuah konduktor semakin besar beda potensial akan semakin besar pula arus yang mengalir.

Perlu dicatat bahwa beda potensial diukur antara ujung-ujung suatu konduktor. Namun kadang-kadang kita berbicara tentang potensial pada suatu titik tertentu. Dalam hal ini kita sebenarnya mengukur beda potensial pada titik tersebut terhadap suatu titik acuan tertentu. Sebagai standar titik acuan biasanya dipilih titik tanah (ground). Lebih lanjut kita dapat menganalogikan sebuah baterai atau accu sebagai tabung air yang diangkat. Baterai ini mempunyai energi kimia yang siap diubah menjadi energi listrik. Jika baterai tidak digunakan, maka tidak ada energi yang dilepas, tapi perlu diingat bahwa potensial dari baterai tersebut ada di sana. Hampir semua baterai memberikan potensial (electromotive force – e.m.f) yang hampir sama walaupun arus dialirkan dari baterai tersebut.



Gambar 1.10. Potensial Listrik pada Sumber Energi Listrik

Pada sistem instalasi air, air dapat mengalir sepanjang masih ada tekanan pada salah satu ujung pipa dan ujung pipa lainnya dalam kondisi terbuka. Semakin besar tekanan air yang ada di dalam pipa semakin besar pula debit air yang megalir melalui pipa tersebut. Hal yang sama berlaku pada sistem instalasi listrik. Elektron dapat mengalir sepanjang masih ada tekanan listrik pada sistem instalasi listrik tersebut. Istilah yang lazim digunakan untuk menyebutkan tekanan listrik adalah tegangan, beda potensial, dan gaya gerak listrik.

B.3.3. Hambatan Listrik

Perjalanan elektron dalam penghantar (kawat penghantar) amat berliku-liku di antara berjuta-juta atom. Dalam perjalanannya elektron Bertumbukan satu dengan yang lainnya dan juga bertumbukan dengan atom. Rintangan yang terdapat di dalam penghantar ini disebut tahanan penghantar. Satuan tahanan penghantar ialah ohm diberi lambang Ω (omega).

Penghantar yang mempunyai tahanan kecil amat mudah dialiri arus listrik, dikatakan mempunyai daya hantar listrik yang besar. Penghantar yang mempunyai tahanan besar, sulit dialiri arus listrik, dan dikatakan mempunyai daya hantar listrik yang kecil. Jadi kita katakan bahwa besarnya nilai tahanan berbanding terbalik dengan besarnya nilai arus yang mengalir.

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad \text{..... (1)}$$

Dimana :

R = tahanan dalam satuan ohm
L = panjang penghantar dalam satuan meter
ρ = tahanan jenis penghantar dalam satuan ohm-mm²/m

B.3.4. Gaya Gerak Listrik (GGL)

Gaya gerak listrik (GGL) adalah besarnya energi listrik yang berubah menjadi energi bukan listrik atau sebaliknya, jika satu satuan muatan melalui sumber itu, atau kerja yang dilakukan sumber arus persatuan muatan dinyatakan dalam Volt.

B.3.5. Muatan Listrik

Muatan listrik adalah muatan dasar yang dimiliki suatu benda, yang membuatnya mengalami gaya pada benda lain yang berdekatan dan juga memiliki muatan listrik. Simbol Q sering digunakan untuk menggambarkan muatan. sistem satuan internasional dari satuan Q adalah coloumb, yang merupakan 6.24 x 10^{18} muatan dasar. Q adalah sifat dasar yang dimiliki oleh materi baik itu berupa proton (muatan positif) maupun elektron (muatan negatif). Muatan listrik total suatu atom atau materi ini bisa positif, jika atomnya kekurangan elektron. Sementara atom yang kelebihan elektron akan bermuatan negatif. Besarnya muatan tergantung dari kelebihan atau kekurangan elektron ini, oleh karena itu muatan materi/atom merupakan kelipatan dari satuan Q dasar. Dalam atom yang netral, jumlah proton akan sama dengan jumlah elektron yang mengelilinginya (membentuk muatan total yang netral atau tak bermuatan).

Penetapan untuk satuan muatan listrik :

1 Coulomb : arus sebesar 1 Ampere mengalir selama 1 detik,

atau

$$Q = I \times t \qquad \text{..... (2)}$$

Dimana :

Q = Muatan listrik (Coulomb)
I = Arus Listrik (Ampere)
t = Waktu (detik)

B.3.6. Kapasitansi

Kapasitans adalah ukuran jumlah muatan listrik yang disimpan (atau dipisahkan) untuk sebuah potensial listrik yang telah ditentukan. Bentuk paling umum dari piranti penyimpanan muatan adalah sebuah kapasitor dua lempeng/pelat/keping. Jika muatan di lempeng/pelat/keping adalah +Q dan –Q, dan V adalah tegangan listrik antar lempeng/pelat/keping, maka rumus kapasitansi adalah:

$$C = \frac{\{Q\}}{\{V\}} \qquad \text{..... (3)}$$

Dimana :

C = kapasitansi yang diukur dalam Farad
Q = muatan yang diukur dalam coulomb
V = voltase yang diukur dalam volt

Unit SI (Satuan Internasional) dari kapasitansi adalah *farad*;

$$1\ farad = 1\ coulomb \text{ per } volt$$

B.3.7. Induktansi

Induktansi adalah sifat dari rangkaian elektronika yang menyebabkan timbulnya potensial listrik secara proporsional terhadap arus yang mengalir pada rangkaian tersebut, sifat ini disebut sebagai induktasi sendiri. Sedangkan apabila potensial listrik dalam suatu rangkaian ditimbulkan oleh perubahan arus dari rangkaian lain disebut sebagai induktansi bersama. Satuan induktansi dalam satuan internasional adalah weber per ampere atau dikenal pula sebagai henry (H).

Induktansi muncul karena adanya medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik (dijelaskan oleh hukum ampere). Supaya suatu rangkaian elektronika mempunyai nilai induktansi, sebuah komponen bernama induktor digunakan di dalam rangkaian tersebut, induktor umumnya berupa kumparan kabel/tembaga untuk memusatkan medan magnet dan memanfaatkan GGL yang dihasilkannya.

B.3.8. Kuat Medan Listrik

Medan lisrtik adalah ruang di sekitar benda bermuatan listrik dimana benda-benda bermuatan listrik lainnya dalam ruang ini akan merasakan atau mengalami gaya listrik Arah Medan Listrik.

Kuat medan listrik adalah besaran yang menyatakan gaya coloumb per satuan muatan di suatu titik.

B.3.9. Fluks Magnet

Fluk magnetik adalah ukuran total medan magnetik yang menembus bidang. secara matematis fluk maknetik didefinisikan sebagi perkalian skalar antara induksi magnetik (B) dengan luas bidang yang tegak lurus pada induksi magnetik tersebut.

B.3.10. Daya Listrik

Didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu

(joule/detik).bisa juga diartikan besarnya usaha dalam memindahkan muatan per satuan waktu atau lebih singkatnya adalah Jumlah Energi Listrik yang digunakan tiap detik. Daya listrik, seperti daya mekanik, dilambangkan oleh huruf P dalam persamaan listrik. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan Hukum Joule, sesuai nama fisikawan Britania James Joule, yang pertama kali menunjukkan bahwa energi listrik dapat berubah menjadi energi mekanik, dan sebaliknya.

$$P = V \times I \qquad \text{..... (4)}$$

Dimana :

P = daya listrik (watt atau W)
I = arus listrik (ampere atau A)
V = perbedaan potensial (volt atau V)

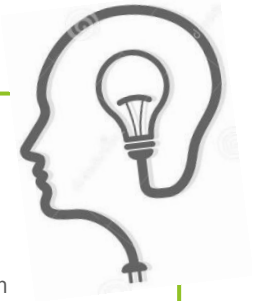
Penetapan untuk satuan daya listrik :

1 Watt = tegangan sebesar 1 Volt mengalir arus sebesar 1 Ampere dengan faktor kerja atau Cos $\varphi = 1$ (antara tegangan dan arus sefasa)

$$P = V \times I \times \cos\varphi \qquad \text{..... (5)}$$

Dimana :

P = daya Listrik (Watt)
V = tegangan listrik (Volt)
I = arus listrik (Ampere)
Cos φ = faktor daya



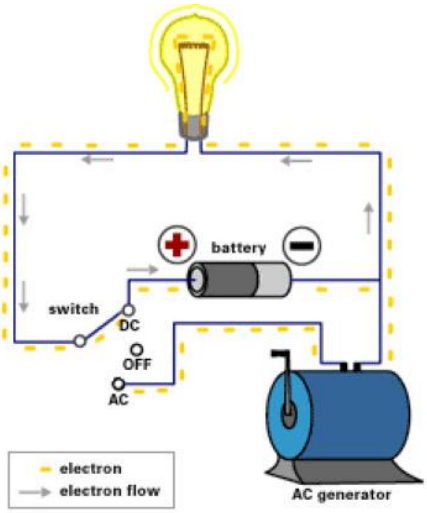
Rangkuman :

Suatu zat terdiri atas partikel-partikel kecil yang disebut atom. Inti atom bermuatan positif, sedangkan kulit atom terdiri atas partikel-partikel bermuatan negatif yang disebut elektron. Elektron yang keluar dari ikatan atomnya disebut elektron bebas. Listrik secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu listrik statis dan listrik dinamis. Listrik statis adalah suatu kumpulan muatan listrik dalam jumlah tertentu yang tidak mengalir atau tetap (statis), tapi jika terjadi pengosongan muatan akan memakan waktu yang cukup singkat. Listrik Dinamis adalah muatan listrik atau elektron yang dapat bergerak atau mengalir dalam rangkaian listrik. Besaran adalah segala sesuatu yang dapat diukur atau dihitung, dinyatakan dengan angka atau nilai dan setiap Besaran pasti memiliki satuan. Contoh-contoh besaran dalam ilmu kelistrikan dan elektronika seperti Tegangan, Arus Listrik, Hambatan, Frekuensi dan Daya Listrik. Satuan adalah acuan yang digunakan untuk memastikan kebenaran pengukuran atau sebagai pembanding dalam suatu pengukuran besaran. Satuan ini dalam bahasa Inggris sering disebut dengan Unit. Contoh-contoh satuan dalam ilmu kelistrikan dan elektronika seperti Ampere, Volt, Ohm, Joule, Watt.

C. Listrik Arus Searah dan Listrik Arus Bolak-Balik

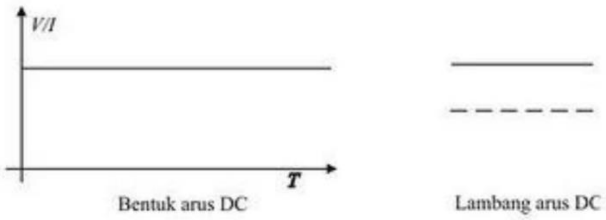
C.1. Umum

Arus searah atau *Direct Current* (DC) adalah arus yang mengalir dalam arah yang tetap (konstan). Dimana masing-masing terminal selalu tetap polaritasnya. Misalkan sebagai kutub (+) selalu menghasilkan polaritas positif begitu pula sebaliknya. Beberapa contoh sumber arus searah (DC) adalah baterai, accu, modul surya.

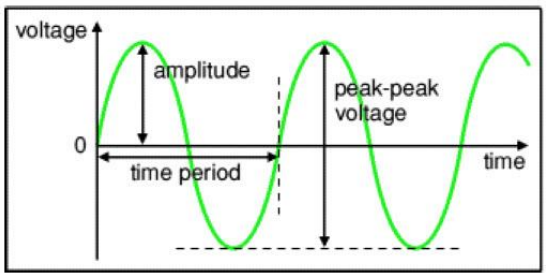


Gambar 1.11. Contoh sumber arus searah dan arus bolak-balik

Arus bolak-balik (AC) adalah arus yang mengalir dengan polaritas yang selalu berubah-ubah. Dimana masing-masing terminalnya polaritas yang selalu bergantian. Contoh Alternator (AC generator), PLN, Inverter.



(a)



(b)

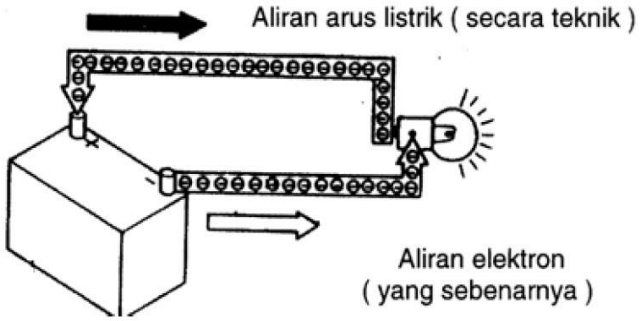
Gambar 1.12. (a) bentuk arus searah (b) bentuk arus bolak-balik

C.2. Listrik Arus Searah

C.2.1. Arus

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, arus searah atau Direct Current (DC) adalah arus yang mengalir dalam arah yang tetap (konstan). Besarnya arus listrik yang mengalir melalui konduktor adalah sama dengan jumlah elektron bebas yang melewati penampang konduktor setiap detik.

Arus listrik bergerak dari terminal positif (+) ke terminal negatif (-), sedangkan aliran listrik dalam kawat logam terdiri dari aliran elektron yang bergerak dari terminal negatif (-) ke terminal positif (+), arah arus listrik dianggap berlawanan dengan arah gerakan elektron.



Gambar 1.13. Aliran Elektron dan Arus Listrik

Formula arus listrik :

$$I = \frac{Q}{t} \qquad \text{..... (6)}$$

Dimana :

I = besar arus listrik (Ampere/A)
Q = besar muatan listrik (Coulomb/C)
t = waktu (second / detik)

1 (satu) Coulomb = $6{,}28 \times 10^{18}$ elektron
1 (satu) Ampere sama dengan pergerakan 6.25×10^{18} elektron bebas yang melewati konduktor setiap detik.

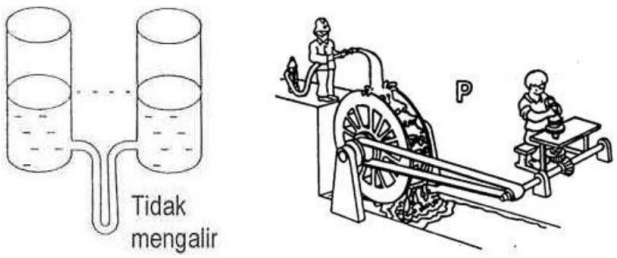
Atau dengan pengertian lain 1 Ampere arus adalah mengalirnya elektron sebanyak 624×10^{16} ($6{,}24151 \times 10^{18}$) atau sama dengan 1 Coulumb per detik melewati suatu penampang konduktor.

C.2.2. Tegangan

Tegangan listrik searah merupakan perbedaan potensial listrik searah antara dua titik pada suatu penghantar atau rangkaian listrik arus searah. Beda potensial adalah perbedaan jumlah elektron yang berada dalam suatu arus listrik searah.

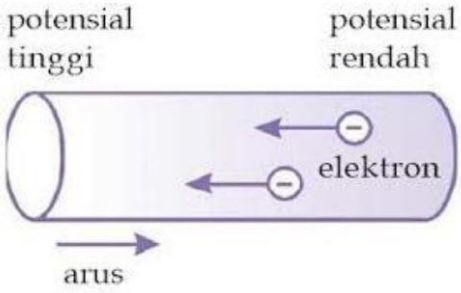
Bila suatu baterai dihubungkan ke lampu dan lampu tersebut menyala, hal ini terjadi dengan adanya aliran listrik. Arus bisa mengalir karena ada perbedaan potensial antara kutub positip dan kutub negatip. Arus mengali melalui lampu, artinya bahwa elektron bergerak dari "-" ke "+" sehingga lampu dapat menyala.

Selanjutnya bagaimana dan mengapa arus mengalir? Kita lihat contoh pada kincir air, kincir air tidak akan berputar bila tidak ada air yang mengalir, hal yang sama jika tidak ada arus yang mengalir, maka lampu tidak akan menyala. Bagaimana air akan mengalir pada contoh Gambar 1.14 di bawah ini? Bila tangki air A dan B tingginya sama, air tidak akan mengalir dan kincir air juga tidak bisa berputar. Jika ada perbedaan tinggi permukaan air diantara kedua tangki tersebut, maka air bisa mengalir dari tangki yang lebih tinggi ke tangki yang lebih rendah dengan sendirinya.



Gambar 1.14. Contoh analogi tangki air dan kincir air

Di satu sisi sumber arus listrik terdapat elektron yang bertumpuk sedangkan di sisi yang lain terdapat jumlah elektron yang sedikit. Hal ini terjadi karena adanya gaya magnet yang mempengaruhi materi tersebut. Dengan kata lain, sumber tersebut menjadi bertegangan listrik. Tegangan listrik (disebut juga voltase) identik dengan beda potensial.



Gambar 1.15. Pergerakan arus dan elektron pada listrik searah

Pada dasarnya, beda potensial (tegangan) inilah yang menyebabkan aliran elektron dari potensial rendah (negatif) ke potensial tinggi (positif). Artinya adanya arus listrik disebabkan karena adanya tegangan listrik pada dua titik (kutub positif dan kutub negatif). Pada rangkain listik, bisa jadi setiap komponen listrik mempunyai beda potensial yang berbeda tergantung hambatan komponen tersebut.

Tegangan (V) adalah unit listrik untuk menerangkan jumlah tekanan listrik yang ada atau sejumlah tekanan listrik yang dibangkitkan oleh aksi kimia di dalam baterai. Simbol tegangan =E dan satuan tegangan =V, dimana 1 (satu) Volt adalah beda potensial antara dua titik saat melakukan usaha 1 (satu) joule untuk memindahkan muatan listrik 1 (satu) coulomb". Dari pernyataan diatas dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$E = \frac{W}{Q} \qquad \text{..... (7)}$$

Dimana :

E = W (joule)/Q (coulombs) Volt
W = energi listrik
Q = Jumlah muatan listrik

C.2.3. Hambatan

Jika suatu elektron bebas bisa bergerak di dalam benda, dan dikarenakan elektron mempunyai listrik alami, maka akan terjadi suatu aliran arus listrik. Arus 1 ampere adalah elektron sebanyak 6.25×10^{18} elektron bergerak dalam satu detik. Perlu juga kita ketahui, bahwa semua jenis benda tersusun dari atom-atom sehingga ada beberapa kemungkinan rintangan bagi elektron bebas untuk bergerak, tertahannya pergerakan elektron bebas biasa disebut dengan tahanan listrik.

Semua benda terdiri dari struktur atom yang berbeda, Karena itulah ruang lingkup elektron bebas untuk bergerak menjadi beragam tergantung dari jenis bendanya. Walaupun elektron dengan jumlah yang sama persatuan, jumlah elektron yang dapat mengalir melalui ruang sempit persatuan waktu dapat berubah, semakin besar ketebalan suatu benda, maka pintu gerbang dimana elektron dapat bergerak juga menjadi semakin lebar. Jika jarak mengalir elektron jauh, maka waktu perjalanan juga akan semakin lama, sehingga jumlah elektron yang bergerak dalam unit waktu dapat berkurang. Artinya banyak tahanan listriknya.

Besar hambatan suatu kawat penghantar (L) sebanding dengan panjang kawat penghantar. Artinya makin panjang penghantar, makin besar hambatannya. Hal ini bergantung pada jenis bahan kawat (sebanding dengan hambatan jenis kawat), dan berbanding terbalik dengan luas penampang kawat. Artinya makin kecil luas penampang, makin besar hambatannya. Jika panjang kawat dilambangkan ℓ, hambatan jenis ρ, dan luas penampang kawat A. Secara matematis, besar hambatan kawat dapat ditulis:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \qquad \text{..... (8)}$$

Dimana :

R = tahanan suatu benda (Ω)
ρ = hambatan jenis dari suatu benda (Ω m)
ℓ = panjang kabel (m)
A = luas penampang penghantar (m^2)

Besaran ρ dikenal sebagai hambatan jenis atau resistivitas yang nilainya bergantung pada jenis bahan penghantar.

C.2.4. Hukum Ohm

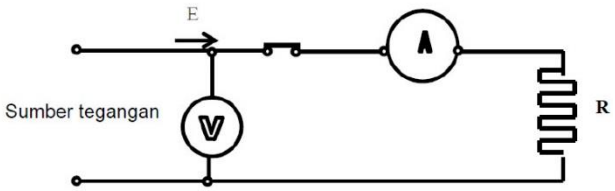
Hukum Ohm menyatakan bahwa arus yang mengalir pada suatu rangkaian sebanding dengan tegangan pada rangkaian dan berbanding terbalik dengan resistansi rangkaian dalam keadaan konstan.

Dalam bentuk rumus:

$$I = \frac{V}{R} \qquad \text{..... (9)}$$

Dimana :

I = kuat arus listrik (Ampere)
V = tegangan listrik (Volt)
R = hambatan listrik (Ohm)



Gambar 1.16. Rangkaian Listrik

C.2.5. Daya Listrik dan Satuannya

Pada bola lampu pijar listrik kita dapat melihat misalnya tulisan 125 Volt 100 Watt. Ini artinya bola lampu listrik tersebut akan menyala dengan baik apabila dipasang pada arus listrik yang tegangannya 125 Volt dan bola lampu itu menggunakan daya listrik 100 Watt.

Daya listrik adalah kekuatan yang dikandung dalam aliran arus dan tegangan listrik melalui hambatan dengan besaran tertentu. Satuan ukuran daya listrik adalah Watt dan mempunyai simbol P.

Rumus untuk menghitung besarnya daya listrik :

$$P = V \times I \qquad \text{..... (10)}$$

Dimana :

P = daya listrik (Watt)
V = tegangan listrik (Volt)
I = kuat arus listrik (Ampere)

C.2.6. Energi Listrik dan Satuannya

Jika arus listrik mengalir pada suatu penghantar yang berhambatan R, maka sumber arus akan mengeluarkan energi pada penghantar yang bergantung pada:

- Beda potensial pada ujung-ujung penghantar (V)
- Kuat arus yang mengalir pada penghantar (i)
- Waktu atau lamanya arus mengalir (t).

Berdasarkan pernyataan di atas, dan karena harga V = I.R, maka persamaan energi listrik dapat dirumuskan dalam bentuk :

$$W = V.I.t \qquad \text{..... (11)}$$

Dimana:

W = energi listrik dalam satuan Watt jam atau *Watt hour* (Wh)
V = tegangan listrik (Volt)
I = kuat arus listrik (Ampere)
t = waktu (jam) [1 jam=60 menit=3600 detik]

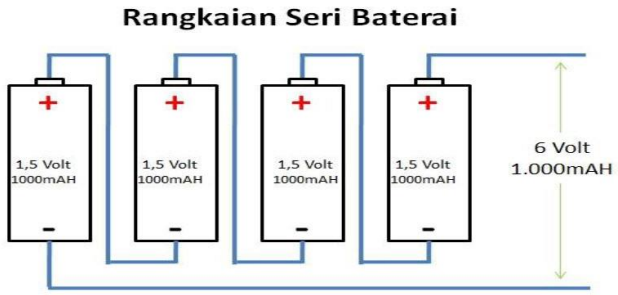
C.2.7. Rangkaian Listrik Arus Searah

Pada dasarnya, sumber tegangan baik baterai maupun modul surya dapat dirangkai secara seri maupun paralel. Hasil output/keluaran dari kedua rangkaian tersebut akan berbeda.

C.2.7.1. Rangkaian Seri

Rangkaian seri baterai atau modul surya akan meningkatkan Tegangan (Voltage) keluarannya sedangkan kuat arus listriknya (Ampere) akan tetap sama.

Contoh rangkaian listrik seri sumber arus searah dapat dilihat pada Gambar 1.17.



Gambar 1.17. Rangkaian listrik seri sumber arus searah

Dari Gambar 1.17 diatas, 4 buah baterai masing-masing menghasilkan *Current* atau kapasitas arus listrik (Ampere) yang sama seperti arus listrik pada 1 buah baterai, namun tegangan yang dihasilkannya menjadi 4 kali lipat dari tegangan 1 buah baterai. Yang dimaksud dengan tegangan dalam elektronika adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik yang dinyatakan dalam satuan Volt.

Seperti yang digambarkan pada Gambar 1.17 diatas, 4 buah Baterai yang masing-masing bertegangan 1,5 Volt dan 1.000 miliampere per jam (mAh) akan menghasilkan 6 Volt tegangan tetapi kapasitas arus listriknya (*Current*) akan tetap yaitu 1.000 miliampere per jam (mAh).

Secara matematis dapat dituliskan :

$$V_{tot} = V_{bat1}+V_{bat2}+V_{bat3}+V_{bat4}+...V_n \quad \text{..... (12)}$$

$$I_{tot} = I_{bat1} = I_{bat2} = I_{bat3} = I_{bat4} = ...I_n \quad \text{..... (13)}$$

Dimana :

V_{tot} = tegangan total
V_{bat1} = tegangan baterai 1
V_{bat2} = tegangan baterai 2
V_{bat3} = tegangan baterai 3
V_{bat4} = tegangan baterai 4
V_n = tegangan baterai ke- n
I_{tot} = kuat arus total
I_{bat1} = kuat arus baterai 1
I_{bat2} = kuat arus baterai 2
I_{bat3} = kuat arus baterai 3
I_{bat4} = kuat arus baterai 4
I_n = kuat arus baterai ke- n

Sehingga :

$V_{tot} = 1,5V+1,5V+1,5V+1,5V$
$V_{tot} = 6V$

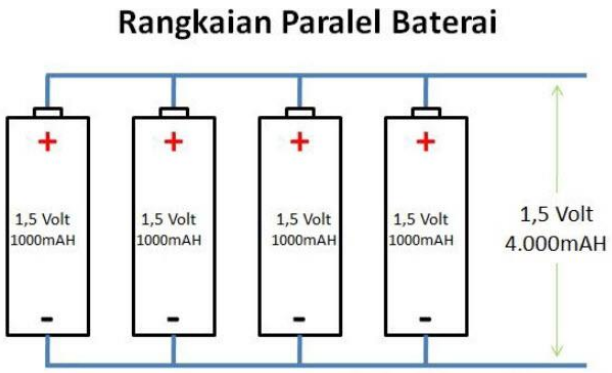
dan

$I_{tot} = 1.000$ mAh

C.2.7.2. Rangkaian Pararel

Rangkaian pararel baterai atau modul surya akan meningkatkan Arus Listrik (Ampere) tetapi Tegangan (Voltage) output/keluarannya akan tetap sama.

Contoh rangkaian listrik pararel sumber arus searah dapat dilihat pada Gambar 1.18.



Gambar 1.18. Rangkaian listrik pararel sumber arus searah

Dari 4 buah baterai pada Gambar 1.18 diatas, tegangan yang dihasilkan dari rangkaian paralel adalah sama yaitu 1,5 Volt tetapi *Current* atau kapasitas arus listrik yang dihasilkan adalah 4.000

mAh (miliampere per jam) yaitu total dari semua kapasitas arus listrik pada baterai.

Secara matematis dapat dituliskan :

$$I_{tot} = I_{bat1}+I_{bat2}+I_{bat3}+I_{bat4}+...I_n \quad .... (14)$$

$$V_{tot} = V_{bat1} = V_{bat2} = V_{bat3} = V_{bat4} = ...V_n \quad .... (15)$$

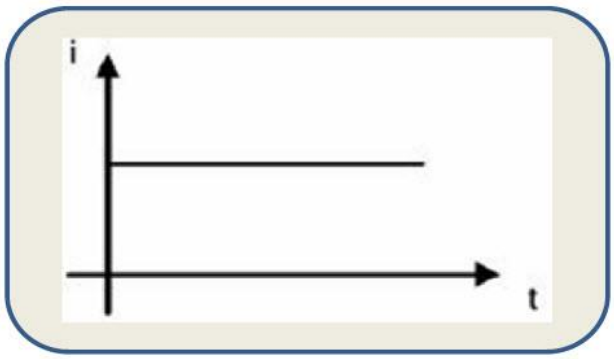
Sehingga:
Itot =
1.000mAh+1.000mAh+1.000mAh+1.000mAh
Itot = 4.000mAh

dan
Vtot = 1,5 Volt

C.2.7.3. Sumber Arus atau Tegangan Listrik Searah

Tegangan dan arus yang bekerja pada rangkaian listrik tertutup selalu dengan arah yang sama, maka arus listrik yang mengalir arahnya juga sama. Biasa disebut dengan arus searah (simbol +). Tegangan listrik searah adalah arus listrik yang mengalir dengan arah dan besar yang tetap/konstan.Yaitu sumber arus listrik yang tidak berubah fasenya. Pada gambar grafik yang memperlihatkan hubungan antara tegangan (V) dan waktu (t) pada tegangan Listrik searah (DC).

Besarnya tegangan listrik pada saat yang berbeda diperlihatkan pada suatu grafik (grafik tegangan fungsi waktu). Untuk maksud ini sumbu horisontal sebagai waktu (misal 1s, 2s, 3s dst.) dan sumbu vertikal sebagai arusnya (misal 1A, 2A, 3A dst.).



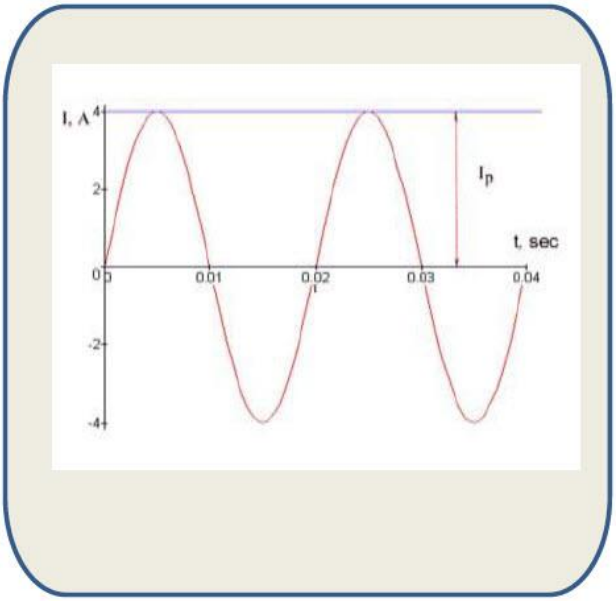
Gambar 1.19. Grafik Arus Listrik Searah (DC)

Contoh Sumber arus listrik searah (DC) :
1. Baterai (elemen kering)
2. Accumulator (aki = accu) (elemen basah)
3. Elemen Volta (elemen basah)
4. *Solar sel* / sel surya
5. Dinamo DC atau Generator DC
6. Adaptor AC ke DC

C.3. Listrik Arus Bolak-Balik

C.3.1. Tegangan dan Arus Bolak Balik

Tegangan pada suatu rangkaian listrik, arahnya berubah-ubah dengan suatu irama/ritme tertentu, dengan demikian maka arah dan besarnya arus selalu berubah-ubah pula. *Alternating Current* (AC) / arus listrik bolak-balik (simbol normalisasi : ~). Berarti bahwa elektron bebasnya bergerak maju dan mundur.



Gambar 1.20. Grafik Arus Listrik Bolak Balik (AC)

Tidak seperti sifat Arus Searah, pada tegangan bolak-balik ini arahnya selalu berubah-ubah (tidak memiliki polaritas tetap "+" dan "-"). Jika disebutkan frekuensi listrik AC =50 Hz, maka terjadi 50 kali siklus pengulangan gelombang penuh sinusoida setiap detiknya.

Contoh sumber arus listrik bolak balik (AC) :
1. Generator AC
2. Jala-jala PLN yang dihasilkan oleh : PLTA, PLTU, PLTP, PLTN, dll.
3. Inverter DC ke AC

C.3.2. Karakteristik Gelombang Sinusoida

Dalam kehidupan sehari-hari, kita selalu memanfaatkan listrik dari PLN untuk menyalakan TV, lemari Es, AC dan peralatan elektronika lainnya. Pada dasarnya, listrik yang disupplai PLN untuk pelanggannya adalah sebuah sumber tegangan yang memiliki perubahan secara periodik. Pada satu waktu, tegangan bisa bernilai positif, diwaktu yang lain tegangannya bernilai negatif. Karakteristik yang selalu berubah secara periodik itu lebih kita kenal dengan istilah bolak-balik.

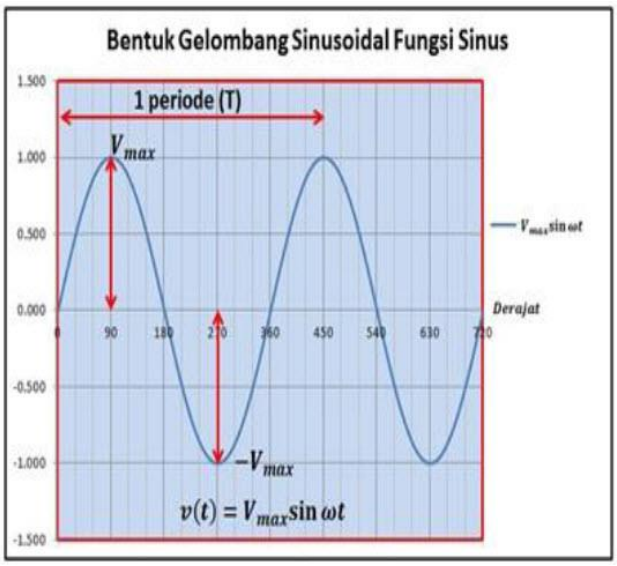
Tegangan yang disalurkan oleh PLN kepada pelanggan pada dasarnya berbentuk gelombang sinusoida, yang akan berubah pada perioda yang tetap. Gelombang sinusoida bisa berbentuk gelombang fungsi sinus atau gelombang fungsi kosinus. Kedua gelombang tersebut pada dasarnya identik, hanya saja memiliki perbedaan sudut sebesar 90^0.

Sebuah tegangan sinusoida berbentuk fungsi sinus memiliki persamaan matematis sbb:

$$V(t) = V_{max} \sin (wt+q) \qquad \ldots\ldots\ldots (16)$$

Dimana :

V_{max} = amplitudo maksimum dari tegangan.
w = kecepatan sudut dalam radian per detik (rad/s).
wt = *argument* dari gelombang sinusoida
q = sudut fasa.



Gambar 1.21. Bentuk Gelombang Sinuisoda fungsi Sinus

Sumbu X merupakan variabel derajat atau waktu, sedangkan sumbu Y mewakili amplitudo dari tegangan sinusoida. Dari grafik tersebut, terdapat beberapa parameter yang harus dipahami :

Tegangan Maksimum (Vmax)

adalah amplituda tertinggi dari suatu gelombang sinusoida. Dalam satu siklus gelombang, terdapat 2 buah tegangan maksimum, yaitu Vmax dan – Vmax.

Vmax : tegangan puncak pada saat gelombang sinusoida pada posisi positif.
– Vmax : tegangan puncak pada saat gelombang sinusoida pada posisi negatif.

Tegangan maksimum atau tegangan puncak sangat berpengaruh dalam menentukan besarnya tegangan efektif dari sumber tegangan bolak-balik. Semakin besar amplitudo tegangan, maka tegangan efektifnya akan semakin tinggi.

Tegangan Efektif (Vrms)

Istilah tegangan efektif atau tegangan RMS muncul karena tegangan dan arus rata-rata tidak banyak membantu dalam perhitungan daya dan energi tegangan bolak-balik AC.

Nilai rata-rata fungsi sinusoida adalah nol. Hal ini tentu saja tidak banyak membantu kita dalam menghitung besarnya daya yang digunakan pada kurun waktu tertentu. Untuk membantu memecahkan masalah tersebut, maka diperkenalkan istilah tegangan efektif atau tegangan RMS.

Tegangan efektif atau tegangan RMS adalah besarnya tegangan bolak-balik AC yang memiliki dampak yang sama dengan tegangan DC ketika mensuplai suatu beban. Sebagai contoh, sebuah tegangan baterai 5 volt mencatu lampu pijar. Untuk bisa menghasilkan daya yang sama tersebut, maka besarnya tegangan AC yang harus disalurkan adalah sebesar 5 Vrms.

Hubungan antara tegangan puncak dan tegangan efektif :

$$Vmax = \sqrt{2}\ Vrms$$
$$Vmax = 1{,}414\ Vrms \qquad \ldots\ldots (17)$$

Pada contoh diatas, jika Vrms adalah 5 Volt, maka tegangan maksimumnya adalah:
Vmax = 1,414*5 = 7,07 V

Dengan demikian, untuk bisa memberikan dampak yang sama dengan tegangan DC 5 Vdc, maka beban harus disuplai dengan tegangan AC yang memiliki tegangan maksimum Vmax = 7,07 Vac

Frekuensi (f)

Frekuensi adalah banyaknya gelombang penuh dalam 1 detik. Semakin banyak gelombang penuh yang terbentuk dalam 1 detik, maka frekuensinya semakin tinggi. Satuan dari frekuensi adalah Hertz.

Sebagai contoh, Jaringan PLN memiliki frekuensi 50 Hertz, artinya dalam satu detik terbentuk 50 buah gelombang penuh.

Perioda (T)

Perioda adalah waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu buah gelombang penuh. Semakin cepat waktu yang dibutuhkan dalam membuat sebuah gelombang, maka semakin banyak gelombang yang terbentuk dalam satu detik. Satuan dari perioda adalah detik.

Hubungan Frekuensi dan Perioda :

Semakin besar frekuensi suatu gelombang, maka waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu buah gelombang semakin kecil.

Dengan demikian, hubungan frekuensi dan perioda adalah:

$$f = \frac{1}{T} \qquad \text{..... (18)}$$

Dimana :

f = frekuensi (Hz)

T = perioda (detik)

Rangkuman :

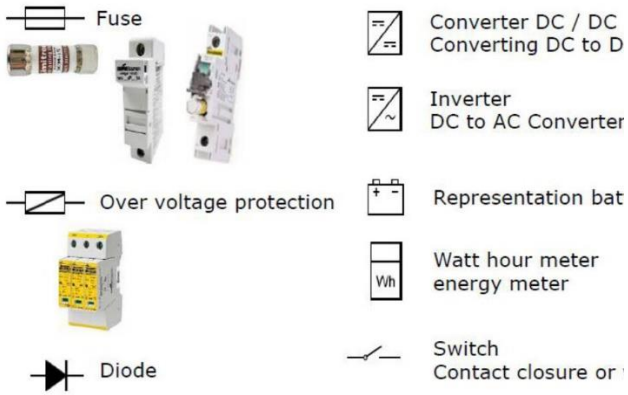
Arus searah atau *Direct Current* (DC) adalah arus yang mengalir dalam arah yang tetap (konstan). Dimana masing-masing terminal selalu tetap polaritasnya. Beberapa contoh sumber arus searah (DC) adalah baterai, accu, modul surya. Arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) adalah arus yang mengalir dengan polaritas yang selalu berubah-ubah. Dimana masing-masing terminalnya polaritas yang selalu bergantian. Contoh Alternator (AC generator), PLN, Inverter.

D. Gambar dan Simbol Listrik

D.1. Simbol Listrik

Simbol elektronika dasar maupun simbol elektrik diperlukan disaat kita membuat gambar sistem rangkaian elektrik ataupun rangkaian elektronik. Penggunaan simbol-simbol ini tentunya akan mempermudah pembangunan skema rangkaian serta juga mempermudah pemahaman disaat proses perakitan dilakukan.

Seorang *electrician* atau instalatir listrik akan terlebih dahulu membaca skema dari rangkaian elektrik sebelum melalukan proses pemasangan, hal ini dilakukan pula oleh seorang teknisi elektronik. Manfaat penggunaan simbol ini tidak hanya saat proses pembangunan saja, tapi pada saat melakukan penelusuran/trouble shooting untuk *service* dan *maintenance*/perbaikan yang diperlukan maupun pada saat pengoperasian.



Gambar 1.22. Contoh simbol listrik

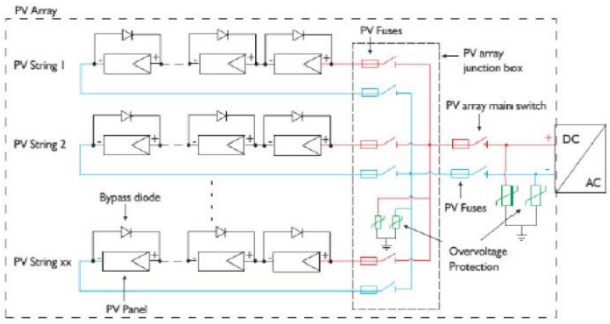
D.2. Diagram Listrik

Dalam kegiatan desain *engineering*, *maintenance* ataupun *troubleshooting,* sangatlah esensial bagi seorang *engineer* atau teknisi, entah itu personil di bidang kelistrikan ataupun dibidang lain (elektronika maupun telekomunikasi) untuk bisa mengerti ataupun menguasai diagram rangkaian

Diagram rangkaian merupakan suatu gambar atau petunjuk tentang komponen apa yang ada di dalam suatu rangkaian listrik, fungsinya dan hubungan antar rangkaian, sehingga diharapkan bila seorang engineer atau teknisi mengerti tentang diagram rangkaian tesebut, mereka akan lebih tepat dalam mendesain suatu rangkaian ataupun menganalisa gangguan terhadap suatu rangkaian

D.2.1. Diagram Satu Garis

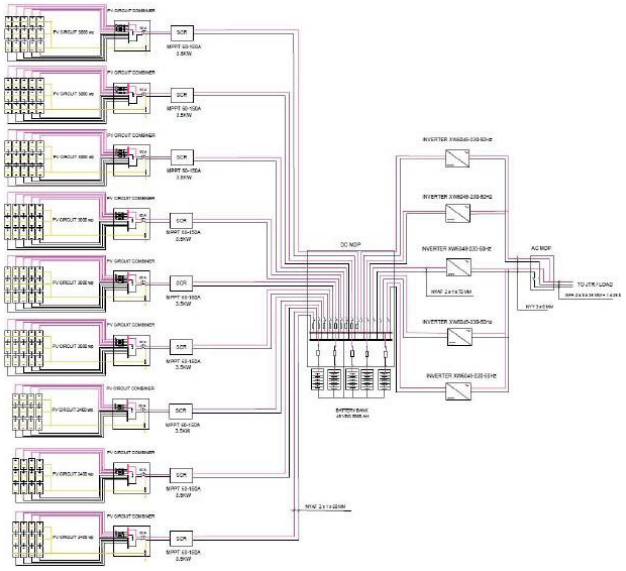
Diagram satu garis (*single line diagram*) menggambarkan suatu rangkaian dalam bentuk sebuah jalur gambar. Diagram satu garis digunakan menggambarkan suatu rangkaian yang komplek dengan cara menyederhanakan gambar tersebut menjadi sebuah alur rangkaian, sehingga diharapkan dengan sebuah diagram satu garis, pembacaan suatu sistem lebih mudah karena alur dalam diagram satu garis tersebut mewakili dari sebuah sistem yang lebih rumit dan detail.



Gambar 1.23. Contoh Diagram Satu Garis

D.2.2. *Wiring Diagram*

Wiring diagram (diagram pengkabelan) menggambarkan hubungan rangkaian secara detail, dari mulai simbol rangkaian sampai dengan koneksi rangkaian tersebut dengan komponen lain, sehingga akan mudah bagi kita untuk mengikuti alur sebenarnya dari sebuah rangkaian, karena digambarkan secara rinci dan lengkap.



Gambar 1.24. Contoh Diagram Pengkabelan

D.2.3. Membaca Diagram

Teknik gambar listrik biasanya digunakan sebagai alat visual dalam merancang sebuah instalasi listrik termasuk PLTS. Sementara gambar-gambar ini bisa sangat mudah untuk orang yang terampil dalam bidang teknik atau arsitektur, mereka bisa sangat sulit untuk menafsirkan bagi orang awam. Mengetahui bagaimana cara membaca gambar listrik akan membantu memberikan pemahaman tentang instalasi listrik yang ada. Berikut beberapa langkah yang dapat dilakukan dalam memahami sebuah gambar listrik:

- Memahami simbol dasar yang digunakan dalam gambar listrik. Sebagaimana gambar, ini dilakukan dalam skala kecil seperti, penggunaan simbol-simbol sering diperlukan. Sementara banyak simbol yang ada, untuk memahami beberapa dasar-dasar bisa sangat membantu ketika membaca gambar teknik. Beberapa simbol yang paling umum digunakan dalam gambar ini adalah persegi panjang, lingkaran, dan segitiga.
- Identifikasi singkatan tertentu. Singkatan adalah alat yang berguna untuk insinyur. Seperti simbol, mereka dapat menunjukkan bentuk, proses, dan bahkan dimensi melalui beberapa huruf.
- Bekerja dengan rekan-rekan. Ketika semuanya gagal, berkonsultasi dengan profesional lain untuk lebih memperjelas gambar. Meskipun mungkin memalukan untuk mengakui bahwa seseorang mengalami kesulitan menafsirkan gambar, mereka yang rutin bekerja dan memahami gambar akan membantu kita membacanya. Tanyakan seseorang "yang tahu" untuk minta menjelaskan apa pun yang kita tidak mengerti.

Rangkuman :

Simbol elektronika dasar maupun simbol elektrik diperlukan disaat kita membuat gambar sistem rangkaian elektrik ataupun rangkaian elektronik. Diagram satu garis digunakan menggambarkan suatu rangkaian yang komplek dengan cara menyederhanakan gambar tersebut menjadi sebuah alur rangkaian, sehingga diharapkan dengan sebuah diagram satu garis, pembacaan suatu sistem lebih mudah karena alur dalam diagram satu garis tersebut mewakili dari sebuah sistem yang lebih rumit dan detail. Wiring diagram menggambarkan hubungan rangkaian secara detail, dari mulai simbol rangkaian sampai dengan koneksi rangkaian tersebut dengan komponen lain, sehingga akanmudah bagi kita untuk mengikuti alur sebenarnya dari sebuah rangkaian, karena digambarkan secara rinci dan lengkap.

II. Alat Ukur Listrik dan Pengukuran Besaran Listrik

A. Pengenalan Instrumen Pengukuran

Tidak ada instalasi listrik yang dapat beroperasi dengan normal bila komponen-komponennya seperti generator, trafo tenaga dan peralatan lainnya tidak memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, untuk itu perlu diukur/dicek dari mulai pabrik sebagai pembuat komponen listrik sampai dengan pemasangan dan pengoperasian peralatan listrik tersebut.

Pengukuran pada komponen listrik berupa pengukuran arus yang berhubungan dengan kemampuan hantar arus yang berhubungan dengan penghantar yang dilalui arus listrik.

Pengukuran tegangan digunakan untuk menentukan isolasi yang dipergunakan untuk peralatan listrik supaya tidak membahayakan pemakaian tenaga listrik.

Pengukuran tahanan penghantar yang berhubungan dengan kerugian dari penghantar dan kemampuan penghantar bila beroperasi yang berhubungan dengan arus listrik dan tegangan listrik.

Pengukuran-pengukuran ini mempergunakan peralatan instrumen yang tepat seperti untuk arus mempergunakan amperemeter, tegangan mempergunakan voltmeter dan tahanan penghantar mempergunakan ohmmeter. Pada umumnya instrumen pengukuran ini dapat berjenis analog atau digital. Saat ini yang umum dipakai dilapangan adalah multimeter/AVOmeter digital. AVO meter singkatan dari Ampere-Volt-Ohm meter.

Bila hasil pengukuran listrik tidak memenuhi persyaratan yang diizinkan, maka komponen listrik tidak dapat dioperasikan, dengan ini penting sekali pengukuran komponen listrik, supaya bahaya akibat listrik dapat dihindari sedini mungkin.

A.1. Amperemeter

Amperemeter adalah alat untuk mengukur kuat arus listrik dalam rangkaian tertutup. Amperemeter biasanya dipasang secara seri (berderet) dengan elemen listrik. Dalam praktikum sumber listrik arus searah, amperemeter biasanya digunakan untuk mengukur besarnya arus yang mengalir pada kawat penghantar. Bagian-bagian amperemeter juga seperti voltmeter yaitu terdiri dari skala, set up pengatur, dan kutub positif-negatif.

Amperemeter dapat dibuat atas susunan mikro amperemeter dan shunt yang berfungsi untuk deteksi arus pada rangkaian baik arus yang kecil, sedangkan untuk arus yang besar ditambahkan dengan hambatan shunt. Amperemeter bekerja sesuai dengan gaya magnetis (Gaya Lorentz). Arus yang mengalir pada kumparan yang diselimuti medan magnet akan menimbulkan gaya Lorentz yang dapat menggerakkan jarum amperemeter. Semakin besar arus yang mengalir maka semakin besar pula simpangannya.

A.2. Voltmeter

Volt meter merupakan alat ukur yang berfungsi untuk mengetahui beda potensial tegangan antara 2 titik pada suatu beban listrik atau rangkaian elektronika. Voltmeter biasanya dipasang secara pararel dengan elemen listrik. Konsep yang digunakan dalam sebuah volt meter hampir sama dengan konsep pada ampere meter. Pada volt meter tahanan shunt atau shunt resistor dipasang seri dengan kumparan putar magnet permanen (*permanent magnet moving coil*) PMMC yang berfungsi sebagai pengali (*multiplier*). Tahanan pengali membatasi arus kealat ukur agar tidak melebihi arus sakala penuh (Idp). Jika tegangan yang diukur oleh voltmeter melebihi batas ukurnya, voltmeter akan rusak.

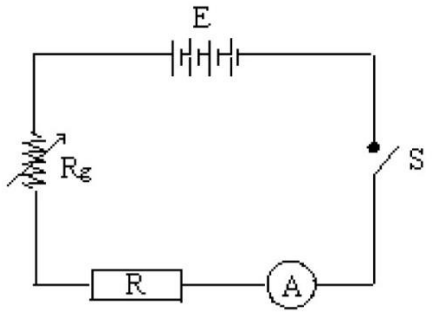
A.3. Ohm meter

Ohm meter merupakan instrument elektronika yang berfungsi untuk mengetahui nilai resistansi/hambatan suatu beban elektronika atau komponen elektronika. Ohm meter pada umumnya dapat dipasang secara seri atau pararel dengan elemen listrik.

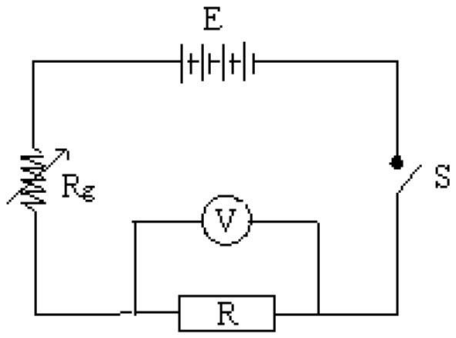
B. Pengukuran Besaran Listrik

B.1. Pengukuran Arus dan Tegangan

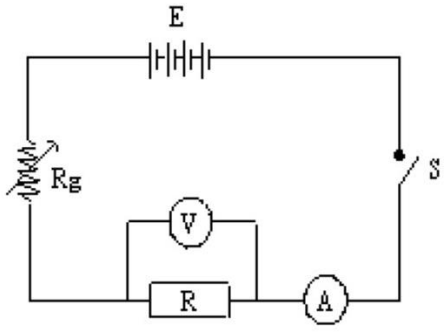
Untuk mengukur kuat arus di suatu rangkaian digunakan amperemeter. Amperemeter itu dipasang seri seperti dalam gambar 2.1. Mengukur tegangan antara dua titik dalam rangkaian digunakan voltmeter. Voltmeter pengukur tegangan dipasang paralel seperti dalam gambar 2.2. Mengukur serempak baik kuat arus maupun tegangan dapat dilakukan seperti dalam gambar 2.3, maupun dalam gambar 2.4.



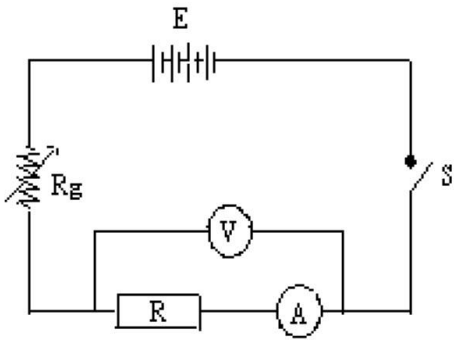
Gambar 2.1. Pemasangan Amperemeter Seri



Gambar 2.2. Voltmeter Dipasang Paralel



Gambar 2.3. Voltmeter dipasang Paralel dan Amperemeter Seri



Gambar 2.4. Voltmeter Dipasang Paralel dengan Tahanan dan Amperemeter

Tetapi pengukuran serempak ini ada kelemahan-kelemahannya. Pada gambar 2.3 voltmeter mengukur tegangan ujung-ujung R tetapi amperemeter bukan mengukur arus yang melalui R, tetapi sebaliknya pada gambar 2.4 amperemeter mengukur arus melalui R tetapi voltmeter tidak mengukur tegangan ujung-ujung R.

Jadi jika pengukuran arus yang dimaksud yang melalui R, tegangan yang dimaksud pada ujung-ujung R, maka baik pada gambar 2.3 maupun pada gambar 2.4, hanya satu alat yang mengukur sebenarnya. Untuk itu hasil pengukuran perlu dikoreksi dan untuk mengoreksinya perlu diketahui hambatan dalam dari alat (amperemeter dan voltmeter).

B.2. Alat Ukur Ampere dan Pengukur Volt Untuk Arus Bolak Balik

Alat ukur kumparan putar tidak dapat dipergunakan untuk pengukuran arus bolak balik. Akan tetapi karena kepekaannya yang baik dan pemakaian sendirinya yang kecil, maka berbagai peralatan pembantu telah ditemukan untuk memungkinkan penggunaan alat-alat ukur kumparan dipergunakan sebagai alat pengukur arus maupun tegangan pada arus bolak bailk. Alat pembantu tersebut bisa beraneka macam ragamnya dan beberapa yang sering dipergunakan adalah pengarah arus, dengan bantuan thermoelektris dan tabung-tabung elektronika. Disamping ini, beberapa tipe dari alat pengukur arus maupun alat pengukur tegangan untuk arus bolak balik, terdapat pula yang

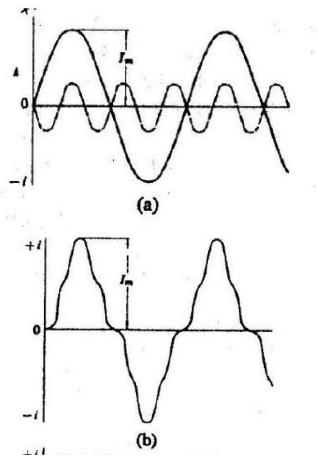
bekerja atas prinsip lain daripada alat pengukur kumparan putar. Misalkan alat pengukur dengan besi putar, alat pengukur elektrodinamis, alat pengukur induksi dan alat pengukur elektrostatis, adalah beberapa contoh daripada alat-alat ukur yang dimaksud. Diantara ini (dengan digantinya tabung-tabung tersebut dengan transistors dan juga kombinasi daripada penguat atau pengeras, dan sebagainya).

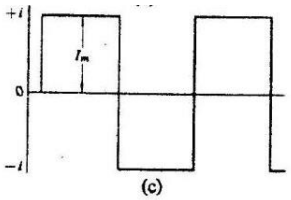
Pada bab ini dijelaskan berbagai macam alat pengukur arus dan tegangan untuk arus bolak balik yang bekerja atas dasar prinsip-prinsip elektronika seperti yang dijelaskan di atas.

B.2.1. Besaran-Besaran dari Arus dan Tegangan Pada Arus Bolak Balik

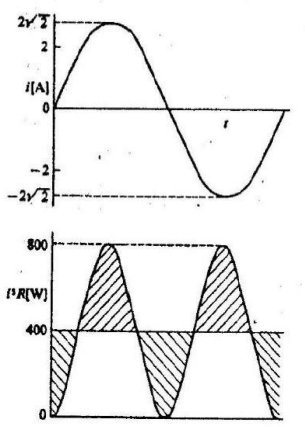
Hal-hal yang diberikan dalam paragraf ini dapat berlaku untuk arus dan tegangan. Untuk memudahkan, maka selanjutnya akan ditinjau sebagai contoh hal-hal yang berhubungan dengan arus.
Arus bolak balik dapat didefinisikan sebagai arus yang besar maupun arahnya berubah dengan waktu, dan perubahan tersebut diulangi kembali secara periodik.

Karakteristik perubahan dengan waktu atau lebih umum dikenal sebagai bentuk gelombang arus bolak balik tersebut adalah bermacam-macam, dan yang sering dipergunakan dapat dilihat pada gambar 2.5 a, b dan c.





Gambar 2.5. Berbagai Bentuk Gelombang Arus



Gambar 2.6. Daya Sesaat dan Daya Rata-rata

Jadi karena besaran-besaran yang berubah tersebut maka besar arus tidaklah semudah dinyatakan sebagai arus searah, dan kita mendefinisikan tiga besaran untuk menyatakan besar dari pada arus bolak balik.

1. Harga maksimum

Harga maksimum atau harga puncak, adalah harga maksimum dari amplitude arus bolak balik. Ini adalah besaran yang paling mudah dan diperlihatkan sebagai Im seperti terlihat pada gambar 2.5, kekuatan isolasi misalkan dari suatu material yang tertentu bila dipakai pada tegangan bolak balik harus diperhitungkan pada harga puncak tegangan bolak balik yang dipergunakannya. Disamping itu harga puncak adalah suatu besaran yang sering dipergunakan untuk menyatakan besar dari pada signal atau gangguan dalam sirkit-sirkit elektronika.

2. Harga rata-rata

Harga rata-rata dari arus bolak balik, adalah harga rata-rata dari besar arus yang diambil melalui suatu jangka waktu selama setengah perioda dari arus bolak balik tersebut. Alasan mengapa diambil setengah perioda dikarenakan bentuk dari pada arus bolak balik adalah simetris yang berarti bahwa bentuk gelombangnya pada waktu arus tersebut positif dan negatif adalah sama seperti

diperlihatkan pada gambar 2.6 maka pengambilan harga rata-rata melalui satu perioda akan tidak mempunyai arti, karena harga rata-ratanya adalah nol. Dalam gambar 2.5 (c) maka jelas bahwa harga rata-rata Ia adalah sama dengan Im akan tetapi pada umumnya untuk suatu bentuk gelombang yang diketahui, maka harga rata-rata dari arus bolak balik harus dihitung secara matematika.

3. Harga efektif

Kalau arus I dialirkan ke dalam tahanan R, maka daya sebesar I2R dipakai dalam tahanan, fenomena ini juga terjadi dalam keadaan arus bolak balik yang dialirkan melalui tahanan. Jadi bila arus bolak balik I dialirkan melalui tahanan R, maka daya sebesar I2R dipakai pula di dalam tahanan. Misalkan bila arus bolak balik I adalah gelombang sinus dengan harga puncak Im sama dengan 2 V 2 A dan tahanan R adalah 100 ohm maka harga sesaat dari pada I2R dapat dihitung, dan grafik seperti diperlihatkan pada gambar 2.6 dapat dibuatkan.

Jadi pemakaian daya akan pula secara sinusoida dengan perioda setengahnya dari pada arus, akan tetapi berbeda dengan arusnya, pemakaian daya tersebut adalah positif. Jadi bila pengambilan harga rata-rata dari pada I2R melalui kedua periodanya atau melalui satu perioda untuk I, akan menghasilkan 400 W, dan ini dapat dilihat dari gambar tersebut secara jelas bila diperhatikan garis lurus pada tingkat 400 W.

Pada gambar tersebut maka bagian yang ada di atas garis dan bagian yang ada di bawah garis, mempunyai luas yang sama, dan tidak memberikan pengaruhnya pada harga rata-rata atau dengan kata lain mereka saling meniadakan. Ditinjau dari pada arus searah, maka arus searah yang akan menghasilkan pemakaian daya sebesar 400 W bila dialirkan melalui suatu suatu tahanan sebesar 100 ohm adalah 2 A. Seperti contoh di atas, maka daya yang dipakai oleh arus bola balik yang mempunyai bentuk gelombang sinus dan harga maksimumnya sebesar 2 V, 2 A, yang mengalir ke dalam suatu tahanan sebesar 100 ohm dan diambil harga rata-ratanya melalui suatu perioda, adalah sama dengan daya yang dipakai oleh arus searah sebesar 2 A yang mengalir ke dalam tahanan sama. Dengan kata lain, maka harga efektifnya dari arus bolak balik seperti di atas ini dinyatakan sebagai 2 A. Mengenai harga efektif ini dapat dikatakan secara umum sebagai berikut:

Bila daya yang dipakai kalau arus bola balik I mengalir melalui suatu tahanan R, dan diambil harga rata-rata melalui satu perioda, adalah sama dengan daya yang dipakai pada arus searah dengan arus I yang mengalir ke dalam tahanan yang sama, maka harga harga efektif dari arus bolak balik tersebut didefinisikan sebagai "I".

Harga efektif dari arus bolak balik yang mempunyai bentuk gelombang beraneka ragam dapat dihitung melalui matematika lanjut. Untuk memudahkan pemakaian, maka harga puncak, harga rata-rata dan harga efektif dari berbagai bentuk gelombang arus bolak-balik, diberikan pada tabel 2.1. Harga efektif untuk tegangan bolak balik V didefinisikan sebagai tegangan antara ujung-ujung dari tahanan R bila arus bolak balik I dengan harga efektif I dialirkan ke dalam tahanan R, dan diambil rata-rata melalui suatu perioda.

Tabel 2.1. Beberapa Bentuk Gelombang Arus Bolak Balik

Bentuk gelombang	Harga puncak	Harga rata-rata	Harga effektip
Gelombang sinus	A	0,637 A	0,707 A
Gelombang segi tiga	A	0,502 A	0,577 A
Gelombang segi empat	A	A	A

Disamping besaran-besaran tersebut, maka faktor bentuk dan faktor puncak yang didefinisikan dalam persamaan-persamaan berikut ini sering pula dipakai.

$$Faktor\ bentuk = \frac{harga\ efektif}{harga\ rata{-}rata} \quad \ldots\ldots\ldots (19)$$

$$Faktor\ puncak = \frac{harga\ rata{-}rata}{harga\ efektif} \quad \ldots\ldots\ldots (20)$$

Dengan definisi-definisi tersebut maka bentuk gelombang arus bolak balik dapat dibayangkan secara kasar dengan harga-harga numerik, misalkan bila bentuk gelombang tersebut berbentuk sinus.

$$Faktor\ bentuk = \frac{I_m/\sqrt{2}}{(2\ I_m)\pi} = 1{,}11$$

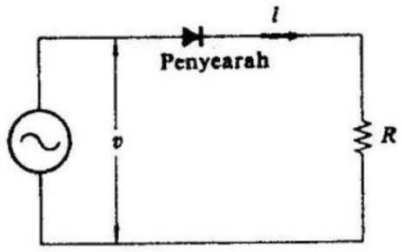
$$Faktor\ puncak = \frac{I_m}{I_m/\sqrt{2}} = 1{,}41$$

Kembali kepada gambar 2.5 (b), maka bentuk gelombang bisa didapatkan dari dua gelombang sinus yang diperlihatkan dengan garis-garis padat dan garis-garis patah dalam (a) sebagai penjumlahan satu dan lainnya. Bentuk gelombang yang demikian ini adalah bentuk gelombang yang telah mengalami distorsi dan bentuk gelombang sinus yang diperlihatkan dengan garis padat (a) disebut gelombang utama, daripada gelombang distorsi ini. Gelombang sinus yang disuperposisikan kepada gelombang utama dan mempunyai frekuensi n kali lebih besar dari pada frekuensi gelombang dasarnya, misalnya n= 2, 3, 4 dan seterusnya, disebut harmonik lebih tinggi pada tingkat ke n. Sebagai contoh maka gelombang yang diperlihatkan dengan garis-garis patah pada gambar 2.5 (b) adalah harmonik ke 3 lebih tinggi dari pada gelombang dasar sinus yang diperlihatkan pada garis penuh.

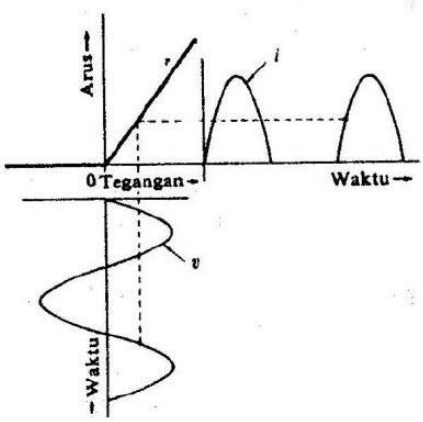
B.3. Alat-Alat Pengukur dengan Pengarah Arus

Pengaruh arus adalah elemen khusus yang akan menghasilkan arus searah (arus pada arah yang sama), bila tegangan ditempatkan pada ujung-ujungnya. Kemampuan kerja dari pengarah arus tersebut disebut pengarah.

Pengarahan arus dapat dinyatakan dengan simbol yang diperlihatkan pada gambar 2.7, dimana arah panah memperlihatkan arah daripada tegangan yang diberikan untuk arah arus yang mudah, dan arah ini biasanya disebut arah kedepan. Sebaliknya dari pada arah ini adalah arah di mana arus akan mendapatkan suatu hambatan yang sangat besar dan dapat disebut arah sukar atau arah kebalikan.



Gambar 2.7 Penyearah



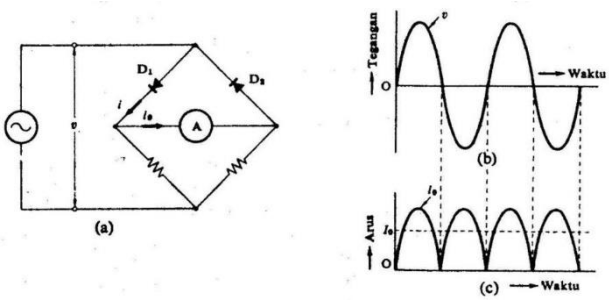
Gambar 2.8 Kerja Dari Penyearah Ideal

Suatu penyearah arus yang ideal mempunyai karakteristik arus dari seluruh tegangan, seperti diperlihatkan dengan dua garis tebal datar pada gambar 2.8 bila pengarah arus ini diberikan suatu tegangan bolak balik yang berbentuk sinus, maka arus I akan mengalir sebanding dengan tegangan V pada waktu periode dari pada tegangan V adalah positif, akan tetapi tidak akan ada arus yang mengalir pada bagian lain dari pada periodenya. Suatu alat ukur yang mengkonversikan arus bolak-balik yang akan diukur ini, dengan mempergunakan kemampuan pengarahan arus, sehingga menjadi arus serah, dan arus ini diukur melalui suatu alat ukur kumparan putar disebut alat ukur dengan pengarah arus.

Alat ukur dengan pengarah arus ini mempunyai kepekaan yang tertinggi di antara alat-alat ukur arus bolak-balik, sedangkan kerugian dayanya adalah kecil. Maka dari itu alat ukur tersebut sering dipakai alat ukur pada berbagai alat pengukur elektronik, lebih-lebih lagi sebagai alat ukur portable.

B.3.1. Prinsip Kerja

Seperti diperlihatkan pada gambar 2.9 (a) dua pengarah arus dan dua tahanan dihubungkan sehingga merupakan suatu lingkaran, dan alat ukur ampere.



Gambar 2.9 Prinsip Alat Ukur Jenis Penyearah

Kumparan putar dihubungkan diantara dua titik hubung antara pengarah arus dan tahanan. Kemudian dua pengantar tipe penghubung pengarah arus dan tahanan, ketahanan, sumber tegangan yang akan diukur dihubungkan diantaranya.

Bila dalam sirkit ini tegangan bolak-balik yang berbentuk sinus ditempatkan seperti pada gambar 2.9 (b), maka pada waktu setengah perioda dimana tegangan tegangan V adalah positif, pengarah D1, mendapatkan tegangan kearah depan akan tetapi pengaruh arus D2 mendapatkan tegangan kearah kebalikannya sehingga arus I yang sebanding dengan V akan mengalir D1 akan tetapi tidak ada arus yang mengalir melaui D2. Dengan demikian maka arus Io dari kira-kira setengah dari harga I melalui alat pengukur arus sesuai dengan arah panah.

Dalam waktu berikutnya yaitu pada waktu setengah perioda dimana tegangan V adalah negatif, maka keadaan adalah sebaliknya dan D2 mendapatkan tegangan ke depan sedangkan D1 pada arah sebaliknya. Sehingga arus I yang berbanding lurus dengan tegangan melalui D2, akan tetapi tiada arus yang melalui D1. Dengan demikian maka arus Io dari kira-kira setengah harga I akan mengalir melalui arah yang sama seperti pada setengah perioda sebelumnya. Jadi bila proses ini diulangi berulang-ulang kali maka akan menghasilkan arus yang melalui alat pengukur ampere yang mempunyai bentuk seperti terlihat pada gambar 2.9 (c).

Dengan mempergunakan matematika yang agak lanjut, maka dapat diperlihatkan bahwa arus yang diarahkan penuh dalam suatu perioda, akan mempunyai suatu komponen arus serah Io dan yang terakhir ini sama dengan harga rata-rata dari I. Disamping arus searah Io ini, maka akan terdapat pula berbagai hamonis tingkat tinggi dengan frekuensi 2f, 4f dan sebagainya, bila f adalah frekuensi dari V.

Alat ukur dari kumparan putar akan menunjuk terhadap arus searah, akan tetapi tidak akan berbuat demikian terhadap arus bolak-balik. Dengan demikian maka alat ukur penunjuk dari kumparan putar yang dimaksudkan, menunjukkan Io seperti terlihat dalam tabel 2.1.

Arus bolak-balik yang berbentuk sinus, akan mempunyai harga rata-rata yang sama dengan arus yang diarahkan selama satu perioda penuh. Ini berarti bahwa penunjukan dari alat pengukur dengan pengarah arus akan ditentukan oleh harga rata-rata dari pada tegangan bolak-balik atau arus bolak-balik yang akan diukur. Akan tetapi dalam pemakaian, alat-alat ukur arus bolak-balik yang paling banyak dipergunakan adalah untuk menunjukkan harga efektifnya. Dengan demikian maka skala dari alat ukur dengan pengarah arus yang dikalibrasikan dengan penunjukan dari alat ukur kumparan putar, pada dasarnya dikalikan dengan faktor 1,1 untuk memenuhi persyaratan sepeti di atas. Faktor ini tidak lain adalah faktor bentuk untuk gelombang-gelombang sinus.

B.3.2. Karakteristik

Pengaruh dari temperatur

Disamping pengaruh temperatur yang terdapat pada alat-alat ukur kumparan putar, maka temperatur akan memperlihatkannya pula pada elemen pengarahannya. Hal ini disebabkan bahwa pengaruh temperatur dari semi konduktor akan menyebabkan bertambahnya arus balik dan mengurangi tahanan kedepan bila temperaturnya meningkat.

Suatu alat pengukur ampere atau pengukur volt dengan tahanan seri yang tinggi mempunyai koefisien temperatur yang lebih disebabkan oleh arus baliknya. Akan tetapi suatu alat pengukur volt dengan tahanan seri yang rendah yaitu untuk pengukuran pada tegangan yang rendah akan dipengaruhi pula tahanan di depannya, akan tetapi karena efek ini akan memungkinkan meniadakan dari arus kebalikannya, maka alat pengukur volt

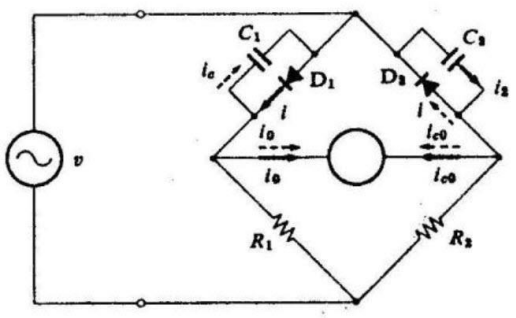
demikian ini akan mempunyai temperatur karakteristik yang baik.

Pengaruh dari bentuk gelombang

Suatu alat ukur dengan pengarah arus yang dikalibrasi dengan harga efektif dari suatu gelombang sinus akan mungkin mempunyai kesalahan yang besar, bila alat tersebut dipergunakan untuk mengukur arus bolak-balik yang mempunyai bentuk gelombang yang telah mengalami distorsi (yaitu bentuk gelombang yang lain dari pada bentuk gelombang sinus). Sebagai contoh, misalnya dalam pengukuran suatu gelombang yang telah distorsikan dan yang mengandung 10% harmonis ketiga yang lebih tinggi maka kesalahan maksimal sebesar 3,3% akan terdapat. Kesalahan bentuk gelombang ini adalah penting diperhatikan untuk penggunaan alat-alat ukur dari tipe dengan pengarah arus ini.

Karakteristik frekuensi

Suatu alat ukur dengan pengarah arus dapat dipergunakan tanpa kesalahan-kesalahan besar pada frekuensi yang relatif tinggi. Akan tetapi setiap pengarah arus mempunyai suatu kapasitas shunt seperti diperlihatkan pada gambar 2.10. Dengan demikian maka pada frekuensi-frekuensi tinggi, melalui kapasitas shunt ini akan mungkin kesalahan penunjukan. Misalkan bila arah pengarah ini mendapatkan tegangan baliknya, misalkan bila arus ke depan mengalir melalui alat pengarah arus D1 dalam gambar, maka melalui kapasitas C2 dari pengarah arus D2, arus Io akan mengalir. Jadi di dalam alat pengukur ampere, arus I akan mengalir ke dalam arah yang kebalikan dengan arus Io yang mengalir melalui D1. Kerjanya pada saat ini diperlihatkan dengan arah-arah pada pada garis tebal di gambar 2.10.



Gambar 2.10. Pengaruh Kapasitas Paralel Penyearah-penyearah

Setelah periodanya berganti dari tegangan yang akan diukur dan arus ke depan I telah mulai mengalir melalui D2 maka arus Io mengalir melalui C1 dari D1. Jadi dalam alat pengukur ampere, Io akan mengalir melalui arah kebalikan dengan Io seperti terdapat dalam keadaan sebelumnya. Kerjanya pada saat ini diperlihatkan dengan arah-arah panah dari garis terpatah-patah pada gambar 2.10 dengan demikian maka penunjukan pada alat pengukur ampere akan berkurang pada frekuensi-frekuensi tinggi, dibandingkan dengan penunjukannya pada frekuensi rendah dimana arus Io dapat diabaikan.

Pengarah arus dari oxide tembaga, yang mempunyai luas dari bagian yang bekerja sebagai pengarah yang lebih besar dari pada diode germanium, mempunyai tahanan shunt yang besar. Dengan demikian maka batas tertinggi dari frekuensi kerjanya adalah beberapa ribu Hz dalam alat ukur yang mempergunakan diode tembaga, dan kira-kira 100 MHz, dalam alat ukur yang mempergunakan dioda germanium.

Pengaruh induksi

Pada alat-alat ukur yang mempergunakan pengarah arus germanium, hendaklah diperhatikan bahwa bila suatu oskilator terdapat di dekatnya, maka arus induksikan oleh karenanya akan pula secara salah, disearahkan. Bila alat ukur akan dipergunakan pada frekuensi di bawah batas dengar (kira-kira 20 kHZ), maka kondensator-kondensator secara sengaja ditempatkan paralel kepada pengarah-pengarah arus, dan kejadian yang digambarkan pada gambar 2.10 berlaku akan tetapi dalam hal ini untuk kebaikan penunjukan. Hal ini memungkinkan kesalahan pada frekuensi tinggi karena induksi dapat dikurangi.

B.4. Alat Pengukur Daya, Alat Pengukur Faktor Daya dan Alat Pengukur Frekwensi

B.4.1. Pengukur Daya dan Faktor Kerja

Untuk mengukur daya dan faktor daya pertama-tama dijelaskan untuk arus searah dengan beban R dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$P = V.I = I^2R = V^2/R \quad \text{..... (21)}$$

Dimana V adalah tegangan beban dan I adalah arus beban untuk jala-jala arus bolak-balik, daya yang dipergunakan dalam beban pada saat dimana tegangan dan arus beban adalah v dan I, maka harga sesaat dari pada daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

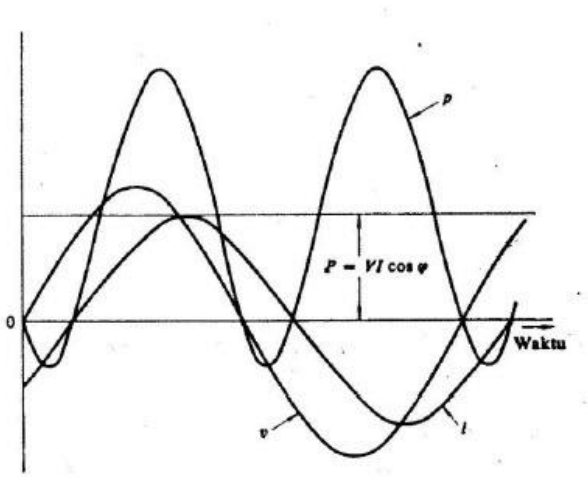
$$p = v.i \quad \text{..... (22)}$$

Bila sekarang tegangan dapat dinyatakan sebagai fungsi sinus dapat ditulis sebagai:

$$v = V_m \sin \omega t \quad \text{..... (23)}$$

Bila tahanan beban adalah R maka arus beban dapat dinyatakan sebagai:

$$i = \frac{V_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \quad \text{..... (24)}$$



Gambar 2.11 Beban Tahanan Vs Arus Bolak-Balik

dengan demikian p dapat dinyatakan sebagai:

$$p = V_m I_m sin^2 \omega t \quad \text{..... (25)}$$

dengan persamaan :

$$sin^2 \omega t = {}^1/_2 \ (1 - \cos 2\omega t) \quad \text{..... (26)}$$

diperoleh :

$$p = \frac{V_m I_m}{2} \ (1 - \cos 2\omega t) \quad \text{..... (27)}$$

Hubungan tersebut di atas dapat dilukiskan pada gambar 2.11 sesuai dengan definisi dari harga efektif, maka harga rata-rata dari daya p melalui satu perioda, yaitu harga rata-rata PV, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{V_m I_m}{2} = V.I = I^2.R = \frac{V^2}{R} \quad \text{.....} \quad (28)$$

Dimana:
V dan I adalah efektif dari V dan I masing-masingnya.

Persamaan ini mempunyai bentuk yang sama dengan persamaan (33) untuk arus searah, maka dengan demikian nilai P disebut sebagai daya dalam arus bolak-balik.

Bila kemudian beban mempunyai elemen reaktif misalkan suatu beban dengan induktansi L_V, maka:

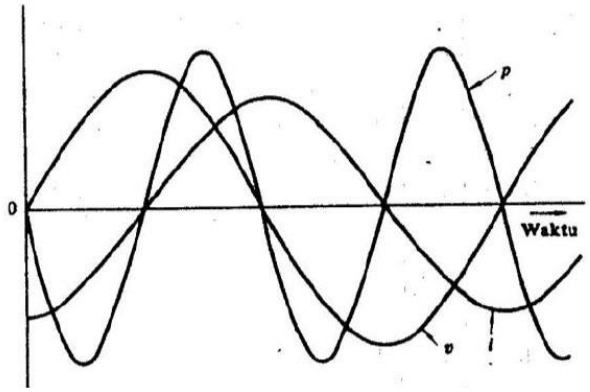
$$i = \frac{V_m}{\omega L} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad \text{.....} \quad (29)$$

dengan demikian akan diperoleh:

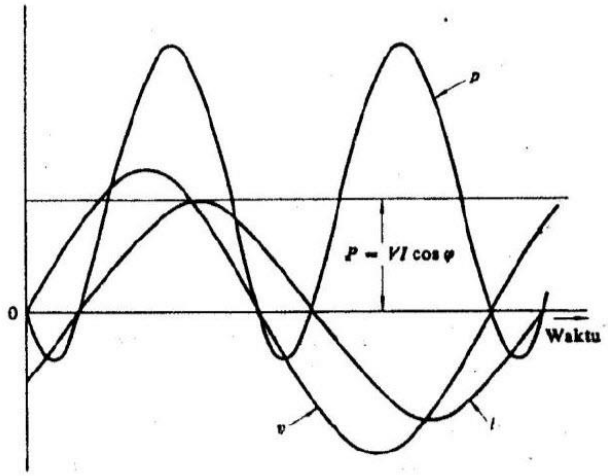
$$p = V_m . I_m . sin(\omega t).sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad \text{.....} \quad (30)$$

$$p = \frac{V_m . I_m}{2} \sin(2\omega t) \quad \text{.....} \quad (31)$$

Hubungan ini dinyatakan dalam gambar 2.12 seperti terlihat dibawah ini, bila induktasi yang diberikan energi dari sumber energi bolak-balik, untuk setengah perioda akan menyimpan energi elektromagnetis, ini mengembalikan energi tersebut pada sumbernya pada setengah perioda berikutnya. Jadi induktansi tidak mempergunakan daya secara rata-rata. Dengan kata lain harga rata-rata daya dalam induktansi adalah nol.



Gambar 2.12 Beban Induktif Vs Daya Arus Bolak-Balik



Gambar 2.13 Beban Umum Vs Daya Arus Bolak-Balik

Misalkan sekarang beban adalah kombinasi dari tahanan dan reaktansi, yaitu dinyakan sebagai Z = R + jx dimana R adalah tahanan dan x adalah reaktansi, maka diperoleh:

$$i = I_m \sin(\omega t)$$

$$p = V_m . I_m . \sin(\omega t) . \sin(\omega t - \varphi)$$

dengan: $\tan \varphi = \frac{X}{R}$

diperoleh:

$$p = V . I . \cos \omega \, (1 - \cos 2\omega t) - V . I . \sin \varphi . \sin \omega t$$

.....(32)

Hubungan ini digambarkan dalam gambar 2.13 dan harga rata-ratanya P adalah

$$P = V \, I \cos \varphi \qquad .....(33)$$

Kemudian dengan mempergunakan

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 X^2}}$$

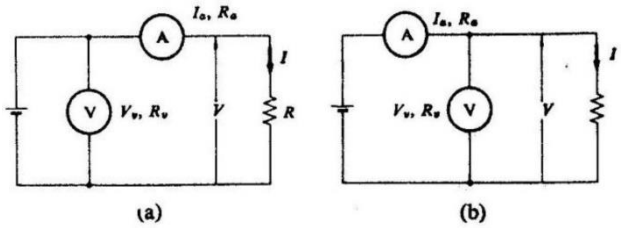
akan dihasilkan:

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R} \qquad .....(34)$$

Seperti diperlihatkan di atas, maka harga rata-rata dari daya dalam keadaan arus bolak-balik dengan beban yang umum, dapat dinyatakan sebagai hasil kali dari arus dan tegangan yang dinyatakan sebagai perkalian dari harga-harga efektif dari arus dan tegangan, dengan cosinus dari perbedaan fasa diantara arus dan tegangan yang melalui beban tersebut. Harga dari pada hasil perkalian ini adalah sama dengan daya yang dipakai dalam tahanan. Jadi daya ini disebut daya efektif. Disamping ini, maka amplitudo dari pada harga sesaat dari daya V.I.sin φ, yang hanya merupakan daya yang ditransferkan antara sumber dengan reaktansi beban, tidak dipergunakan dan disebut daya reaktif. V.I disebut daya semu dan cos φ sebagai faktor kerja.

B.4.2. Pengukuran Daya Dengan Alat Pengukur Volt dan Alat Pengukur Ampere

Daya arus searah dapat diukur dengan alat pengukur volt dan alat pengukur ampere yang dihubungkan seperti terlihat pada gambar 2.14 di bawah ini. Dalam hal ini pengukuran penting dalam memperhitungkan kerugian daya listrik yang terjadi.



Gambar 2.14 Pengukuran Daya Dengan Memakai Voltmeter dan Ampere Meter

Misalkan: bila beban mempunyai tahanan R, tegangan beban adalah V dan arus beban adalah I, sedangkan alat pengukur volt dan ampere yang mempunyai tahanan dalamnya Rv dan RA menunjukkan VV dan Ia dengan mempermudah rangkaian pada gambar 2.14 (a) diperoleh:

$V_v = IR + IR_a$ dimana: $I_a = I$

Maka daya yang diukur adalah:

$$W = I^2R = V_V I_a - I_a^2 R_a \quad \text{.....(35)}$$

Dan pula dengan yang sama dalam (b)

$$W = VI = V_v I_a - \frac{V_v^2}{R_v} \quad \text{.....(36)}$$

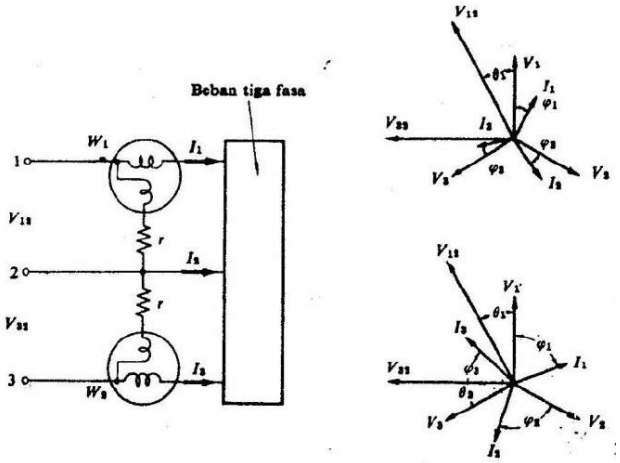
Bila dimisalkan bahwa pada (b), tahanan dalam dari alat pengukur volt adalah 10 kΩ, sedangkan alat pengukur volt menunjukkan 100 V, dan pembacaan pada alat pengukur Ampere sama dengan 5 A, maka beban daya pada beban adalah:

$$W = 1000 \times 5 - \left(\frac{100^2}{10^4}\right) = 499 \ Watt$$

Cara yang sama akan dipilih dalam menghubungkan alat-alat ukur volt dan ampere untuk mengukur daya yaitu (a) atau (b) haruslah ditentukan dengan memperhatikan penjabaran yang diberikan pada 1, 2, 5. Dalam hal pengukuran arus bolak- balik, bila diketahui tegangan V dan arus I, disamping itu diketahui pula perbedaan fasa atau faktor daya cos φ, maka W dihitung dari VI cos φ.

B.4.3. Pengukur Daya Tiga Fasa

Daya pada jaringan tiga fasa dengan tiga pengantar dapat diukur dengan mempergunakan dua alat pengukur watt satu fasa, seperti terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Pengukuran Daya Tiga Fasa dengan 2 Wattmeter

Dan dengan menjumlahkan secara aljabar hasil penunjukannya. Cara ini disebut metode dengan dua alat ukur pengukur watt.

Dalam cara ini bila susunan dari fasanya 1, 2, 3, maka bila penujukan dari alat-alat pengukur watt adalah W_1 dan W_2 seperti dinyatakan 2.15, maka akan terdapat persamaan sebagai berikut:

$$W_1 = V_{12} I_1 \cos(\theta_1 + \varphi_1) \quad \text{.....(37)}$$

$$W_2 = V_{32} I_1 \cos(\theta_3 + \varphi_3) \quad \text{.....(38)}$$

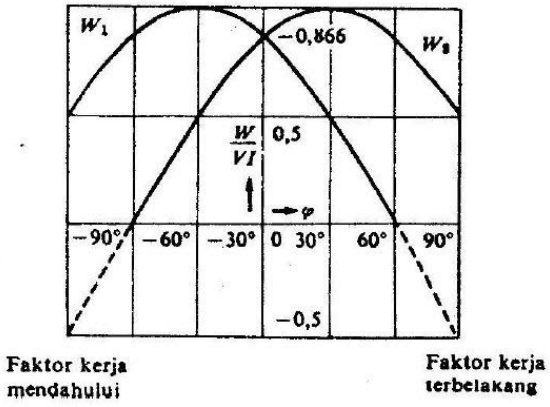
Bila tegangan dalam jaringan tiga fasa ini adalah seimbang, maka:
$V_{1,2} = V_{2,3} = V_{3,1}$ dan $\theta_1 = \theta_3 = 30^0$,

lagi pula bila bebannya adalah juga seimbang maka:
$I_1 = I_3 = I$ dan $\varphi_1 = \varphi_3 = \varphi$

dengan demikian terdapat:

$$W_1 = V\ I \cos(30^0 + \varphi) \quad \text{.....(39)}$$

$$W_2 = V\ I \cos(30^0 - \varphi) \quad \text{.....(40)}$$



Gambar 2.16 Penunjukan Wattmeter Pada Metode Dua Wattmeter

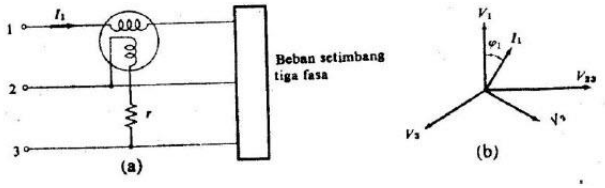
Hubungan antara φ dan W_1 dan diantara φ dan W_2 diperlihatkan pada gambar 2.16. Bila faktor kerja adalah lebih rendah dari 0,5 (i.e [φ] lebih besar 60^0 seperti diperlihatkan pada gambar 2.16, maka W_1 dan W_2 adalah negatif dan penujukan dari kedua alat pengukur watt akan menunjukkan kearah negatif. Kemudian kumparan tegangan dari alat pengukur dibalik polaritasnya yang akan menyebabkan alat penunjuk bergerak kearah positif dan untuk memperoleh jumlah aljabar dari kedua penunjukan tersebut, maka penunjukan dari alat ukur watt mempergunakan polaritas terbalik ini, dianggap sebagai penunjuk negatif. Dengan demikian maka hakekatnya adalah bahwa pembacaan dari salah satu alat pengukur dikurangi dengan pembacaan dari alat pengukur watt yang lainnya.

B.4.4. Pengukuran Daya Reaktif

Daya reaktif Q dapat dihitung dari VI sin φ vila tegangan V dan arus I dan perbedaan fasa φ diketahui dengan cara lain. Daya reaktif tersebut dapat pula dihitung dari persamaan di bawah ini dengan mengukur V, I dan daya W:

$$Q = \sqrt{(VI)^2 - W} \qquad .....(41)$$

Selanjutnya daya reaktif, dapat diukur, dengan memberikan perbedaan fasa sebanyak 90^0, dari arus yang mengalir melalui kumparan tegangan dari alat pengukur volt terhadap tegangan jaringan. Bila tegangan-tegangan maupun bebannya dalam jaringan tiga fasa seimbang, maka tegangan $V_{2,1}$ dapat ditempatkan dalam sirkit tegangan, seperti terlihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Pengukuran Daya Reaktif dari Suatu Beban Seimbang Tiga Fasa

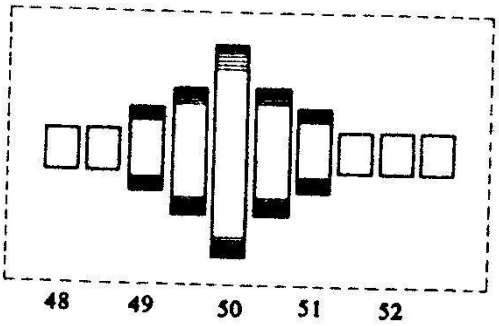
$V_{2,1}$ tertinggal dalam fasa V_1 dengan sudut sebesar 90^0, seperti diperlihatkan pada gambar (b), sedangkan besarnya adalah 3 kali lebih besar, hingga 3VI sin φ dapat diukur.

Jumlah dari daya reaktif seluruhnya adalah 3VI sin φ yang mungkin diperoleh dengan mempergunakan faktor perkalian sebesar $\sqrt{3}$, kepada hasil pembacaan alat pengukur watt. Dalam keadaan terjadinya arus-arus yang mempunyai fasa didepan terhadap tegangan-tegangannya maka dipergunakanlah $V_{3,2}$ sebagai pengganti $V_{2,1}$.

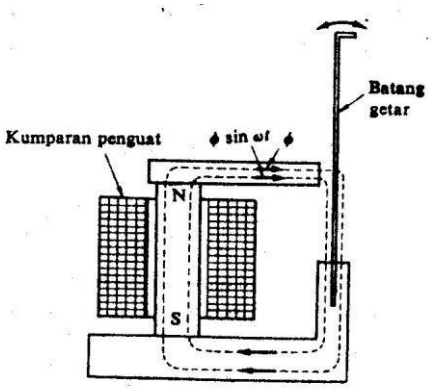
B.4.5. Pengukur Frekwensi

Alat Ukur Frekwensi dari Tipe Lidah-Lidah Bergetar

Bila sejumlah kepingan baja yang tipis membentuk lidah-lidah bergetar, dan masing-masing mempunyai perbedaan frekwensi getarnya yang relatif tidak jauh sama lainnya dibariskan dan kepadanya diberikan medan magnet arus bolak balik, maka salah satu dari lidah-lidah getar akan beresonansi dan memberikan defleksi yang besar bila frekwensi getarnya adalah sama dengan frekwensi medan magnet arus bolak-balik tersebut.



Gambar 2.18 Kerja Suatu Frekwensi Meter Jenis Batang Getar



Gambar 2.19 Prinsip Suatu Frekwensi Meter Jenis Batang Getar

Dalam perencanaan dari pada susunan lidah-lidah getar tersebut, pada umumnya telah ditetapkan bahwa amplitude dari defleksinya akan menurun sampai kira-kira 60% bila jarak perbedaan dari frekwensinya adalah 0,25 Hz dari frekwensi resonansinya. Jadi lidah getar yang beresonansi akan dapat dengan mudah dilihat. Hal ini diperlihatkan dalam gambar 2.18. Alat ukur yang demikian ini disebut alat ukur frekwensi tipe lidah bergetar.

Gaya yang bekerja pada lidah getar berbanding lurus dengan kuadrat dari fluksi magnit yang tetap Φ yang disebabkan oleh magnit permanen dari fluksi arus bolak balik $\Phi_m \sin \omega t$, disuperposisikan kepadanya yang diperlihatkan dalam gambar 2.19. Dengan demikian:

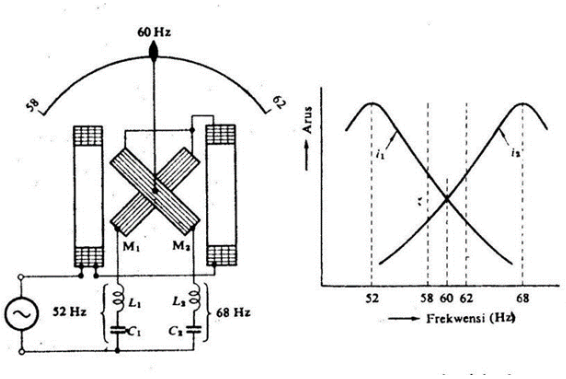
$$(\Phi + \Phi_m \sin \omega t)^2 = \Phi^2 + \frac{1}{2}\Phi_m + 2\Phi\Phi_m \sin \omega t - \frac{1}{2}\Phi_m \cos 2\omega t \quad \text{.....(42)}$$

Dan lidah getar akan bergetar dengan unsur-unsur ketiga dan keempat dari bagian kanan persamaan tersebut. Dari persamaan tersebut terlihat bila $\Phi < \Phi_m$ unsur yang ketiga akan lebih besar pengarahnya, dan salah satu dari lidah getar yang mempunyai frekwensi getarnya sama dengan frekwensi yang akan diukur, bergetar lebih intensif dari pada lidah-lidah getar lainnya.

Alat ukur frekwensi dari tipe ini mempunyai keuntungan bahwa ia tidak dipengaruhi oleh tegangan atau bentuk gelombang, akan tetapi penunjuknya adalah secara bertangga dalam 0,3 atau 1 Hz. Satu kerugian yang lain adalah bahwa penunjukan tidak secara dapat mengikuti perubahan-perubahan frekwensi. Oleh karena sebab-sebab ini maka alat pengukur ini hanya dipergunakan untuk frekwensi komersil.

Alat Pengukur Frekwensi dari Tipe Alat Ukur Ratio

Alat ukur frekwensi dengan skala penunjuk, sering dibuat sebagai alat ukur ratio dan contoh biasa ditentukan, yang diperlihatkan pada gambar 2.20.



(a) (b)

Gambar 2.20 Prinsip Suatu Frekwensi Meter Jenis Meter Pembagi (Ratio meter)

Pada gambar tersebut di atas (a), arus-arus yang mengalir melalui kumparan–kumparan putar M_1, dan M_2 adalah I_1 dan I_2. Konstanta-konstanta sirkit dipilih sedemikian rupa sehingga menyebabkan arus-arus tersebut mempunyai resonansi pada masing-masing 42 Hz dan 50 Hz seperti diperlihatkan pada gambar (b). Dengan demikian maka ratio dari I_1 ke I_2 akan berubah secara monoton dengan frekwensi-frekwensi yang berubah di atas atau di bawah 50 Hz. Karenanya alat penunjuk akan bergeser sesuai dengan ratio tersebut dan rekwensi yang akan diukur dapat diketahui pada skala penunjukannya bila alat ukur tersebut dikalibrasikan terhadap frekwensi.

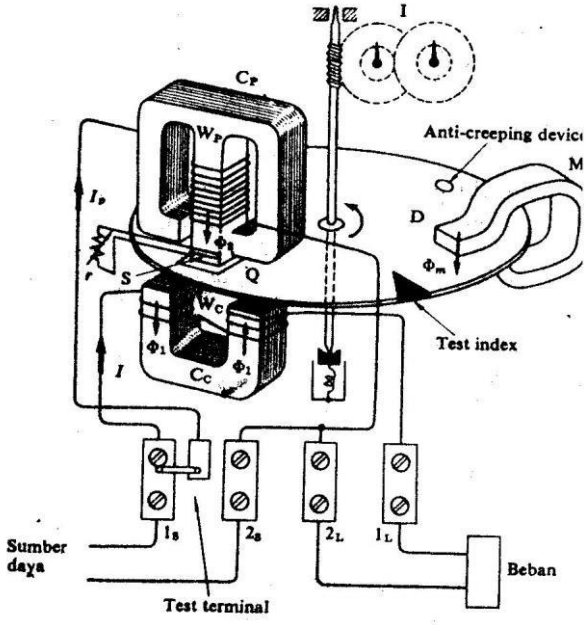
C. Alat Pengukur Energi Arus Bolak-Balik

Untuk penggunaan yang paling umum dari alat pengukur energi pada arus bolak-balik, maka alat ukur dari tipe induksi mendapatkan pemakaian yang paling luas. Alat ukur dari tipe ini mempunyai peralatan gerak yang prinsip kerjanya adalah sama dengan alat ukur dari tipe induksi seperti diperlihatkan pada gambar 2.21. Jadi dalam gambar tersebut C_P adalah inti besi dari kumparan-kumparan tegangan, W_P adalah kumparankumparan tegangan, C_C adalah inti kumparan-kumparan arus dan WC adalah kumparan-kumparan arus. Arus beban I mengalir melalui W_C dan menyebabkan terjadinya fluksi magnetik Φ_1 W_P mempunyai sejumlah lilitan yang besar dan cukup besar untuk dianggap p sebagai reaktansi murni, sehingga arus I_P yang mengalir melalui W_b akan tertinggal dalam fasanya terhadap tegangan beban dengan sudut sebesar 90^0, dan menyebabkan terjadinya fluksi megnetis sebesar Φ_2, persamaanpersamaan ini diperlihatkan pada gambar 2.22, dengan demikian maka terhadap kepingan alumunium D, momen gerak T_P yang berbanding lurus terhadap daya beban diperlihatkan dalam persamaan (24) akan dipergunakan

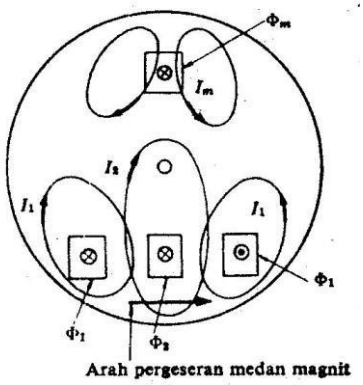
$$\omega\Phi_1\Phi_2 \sin\alpha = K\ V\ I \cos\varphi \qquad \text{..... (43)}$$

Misalkan bahwa oleh pengaruh momen gerak ini, kepingan alumunium akan berputar dengan kecepatan putaran n sambil berputar ini, D akan memotong garis-garis fluksi megnetis Φ_m dari magnit yang permanen dan akan menyebabkan terjadinya arus-arus putar yang berbanding lurus terhadap $n\Phi_m$ di dalam kepingan alumunium tersebut.

Arus-arus putar ini akan pula memotong garis-garis fluksi Φ_m sehingga kepingan D akan mengalami suatu momen redaman T_d yang berbanding terhadap $n\Phi^2_m$. Bila momen-momen tersebut T_D dan T_d ada dalam keadaan seimbang, maka hubungan di bawah ini akan berlaku:



Gambar 2.21 Prinsip Suatu Penunjuk Energi Listrik Arus BB (Beban Induktif)



Gambar 2.22 Arus-Arus Eddy pada Suatu Piring

$$K_d\ VI \cos\varphi = K_m\ n\ \Phi^2_m$$

atau

$$n = \frac{K_d}{K_m\Phi^2_m} V\ I \cos\varphi \qquad \text{..... (44)}$$

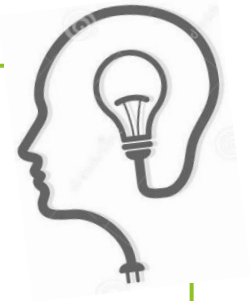
Dengan K_d dan K_m sebagai konstanta, jadi dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan putar n, dari kepingan D adalah berbanding lurus dengan beban VI cosφ, sehingga dengan demikian maka jumlah perputaran dari pada kepingan tersebut, untuk suatu jangka waktu tertentu berbanding dengan energi yang akan diukur untuk jangka waktu tertentu pula.

Untuk memungkinkan pengukuran, maka jumlah perputaran dari kepingan D ditransformasikan melalui sistem mekanis tertentu, kepada alat penunjuk roda-roda angka. Transformasi dari kecepatan putar biasanya diadakan sehingga roda-roda angka tersebut berputar lebih lambat dibandingkan dengan kepingan C. Dengan demikian maka alat penunjuk atau roda-roda angka akan menunjukkan energi yang diukur dalam kWh, setelah melalui kalibrasi tertentu. Tabel 2.2 berikut adalah contoh-contoh alat ukur penunjuk listrik:

Tabel 2.2 Contoh – Contoh Alat Ukur Penunjuk Listrik

Jenis	Tanda gambar	Tanda huruf	Prinsip Kerja	Contoh*	Dipakai dalam rang kaian	Penunjukan dalam hal AC	Daerah kerja			Penggunaan daya
							Arus	Tegangan	Frekwensi	
Kumparan putar		M	Gaya elektromagnetik antara medan magnit suatu magnit tetap dan arus	VAΩNθLϕ	DC		$1{,}5 \times 10^{-6}$ $\sim 10^{2}$	$10^{-2} \sim 10^{3}$	—	Kecil
Penyearah		R	Kombinasi suatu pengubah memakai penyearah semi-conductor saat suatu alat ukur jenis kumparan putar	VAΩf	AC	Harga rata-rata	5×10^{-4} $\sim 10^{-1}$	$1 \sim 10^{3}$	$< 10^{4}$	Kecil
Thermo-kopel		T	Kombinasi suatu pengubah memakai thermokopel dan alat ukur jenis kumparan putar	VAW	AC dan DC	Harga effektip	$10^{-3} \sim 5$	5×10^{-1} $\sim 1{,}5 \times 10^{2}$	$< 10^{8}$	Kecil
Besi putar		S	Gaya elektromagnetik pada suatu inti besi dalam suatu medan magnit	VA	AC dan DC	Harga effektip	10^{-2} $\sim 3 \times 10^{2}$	$10 \sim 10^{3}$	$< 5 \times 10^{2}$	Besar
Elektro-dinamo-meter		D	Gaya elektromagnetik antara arus-arus	VAWf	AC dan DC	Harga effektip	$10^{-2} \sim 50$	$1 \sim 10^{3}$	$< 10^{3}$	Besar
Induksi		I	Gaya elektromagnetik yang ditimbulkan oleh medan magnit bolak balik dan arus yang terimbas oleh medan magnit	VAWNWh	AC	Harga effektip	$10^{-1} \sim 10^{2}$	$1 \sim 10^{3}$	$< 3 \times 10$ $\sim 10^{2}$	Besar
Elektro-statik		E	Gaya tarik elektrostatik antara dua elektroda bermuatan	VΩ	AC dan DC	Harga effektip	—	$10 \sim 5 \times 10^{3}$	$< 10^{8}$	Kecil sekali

*Contoh ... V: voltmeter, A: ammeter, W: Wattmeter Ω: ôhm meter N: rotating speed meter θ: thermometer L: illuminometer Φ: magnetic fluxmeter
f: frequency meter Wh: Electric energy meter



Rangkuman :

1. Amperemeter dipergunakan untuk mengukur arus searah atau bolak balik yang dihubungkan secara seri dengan sumber listrik, sehingga dapat diketahui arus listrik yang dipergunakan beban.

2. Voltmeter dipergunakan untuk mengukur tegangan yang dihubungkan paralel dengan beban dan sumber listrik sehingga dapat diketahui tegangan sumber yang dipergunakan oleh beban.

3. Besaran-besaran listrik dari tegangan dan arus dengan arus bolak balik yang berpengaruh pada gelombang sinusoidal.

D. Fungsi dan Prinsip Kerja Alat Ukur Listrik

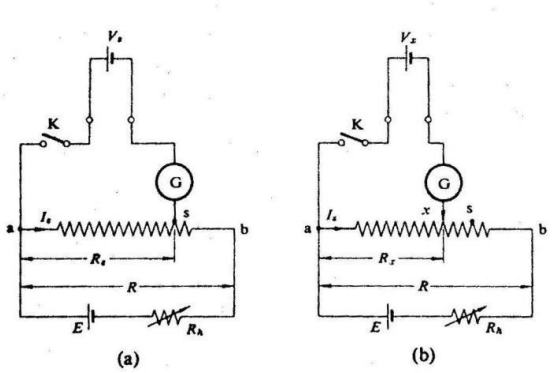
Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai hal-hal untuk mengetahui caracara pengukuran dari besaran-besaran dasar listrik seperti tegangan, tahanan dan impedansi secara teliti. Lagi pula alat-alatnya dijelaskan tegangan dan arus dapat segera diukur dengan alat penunjuk seperti dipelajari pada subbab sebelumnya. Akan tetapi sangat sukar mencapai ketelitian yang lebih dari 0,5% dari pada harga skala maksimum. Terlebih lagi menghubungkan alat pengukur tersebut akan mungkin mengganggu jaringan yang diukur. Demikian pula adalah tidak mungkin mengukur besaran-besaran yang kecil seperti 10^{-6} V atau 10^{-10} A. Cara-cara pengukuran yang akan mungkin menanggulangi hal-hal tersebut.

D.1. Potensiometer

Alat-alat yang mengukur tegangan dengan mempersamakannya secara langsung atau perkaliannya dari suatu harga tegangan yang tertentu, disebut potensiometer. Alat yang membangkitkan tegangan yang akan dipergunakan sebagai refrensi disebut standar tegangan, dan sel standar atau diodazener dipergunakan untuk ini.

D.1.1. Prinsip Kerja Potensiometer

Pada gambar 3.1. merupakan tegangan standar (referensi gaya gerak listrik) dan V_a adalah tegangan yang akan diukur. Tahanan R dari a dan b adalah tahanan yang dilengkapi dengan sikat yang mempunyai posisi kontrak, yang dapat diatur seperti yang diperlihatkan pada gambar tersebut, dan arus I dari baterai E melalui suatu *rheostat* R_b yang dapat diatur. Pertama-tama hubungkanlah tegangan V_a seperti terlihat pada gambar 3.1 (a) dan tetapkan posisi dari sikat-sikat seperti s, sesuai dengan V_a , karena tahanan antara a ke s adalah R_s tegangan IR_s akan dibandingkan antara a – s disebabkan oleh arus I, bila tegangan ini adalah sama dengan Vs, maka galvanometer G tidak akan menunjukkan pergeseran, meskipun penghubung K ditutup. Langkah ini untuk menyatakan kesamaan dari tegangan V_s dan IR_s dengan cara melihat galvanometer G hingga tidak memberikan refleksi, disebut membalansasikan V_s dan IR_s.



Gambar 3.1 Prinsip Dari Potensiometer

Untuk membalansasikan V_s dengan IR_s, R_b diatur untuk mengatur arus potensiometer I. Misalkan bahwa arus pada keadaan seimbang adalah I_s, maka:

$$V_s = R_s I_s \qquad \text{..... (45)}$$

Kemudian hubungkanlah tegangan yang akan diukur V_x, seperti terlihat pada gambar 3.1 (b). Misalkan G tidak memberikan defleksi, meskipun K ditutup bila posisi dari sikat-sikat diatur sampai dengan pada posisi x. Dengan demikian maka arus mengalir pada a – b akan seperti I_s dan tegangan I_sR_x akan terdapat a – x. Karena dalam keseimbangan dengan V_x ini, maka:

$$V_s = R_x I_s \qquad \text{..... (46)}$$

Dari persamaan (45) dan (46) yang didapatkan melalui dua langkah untuk memperoleh keseimbangan seperti dijelaskan di atas, akan terdapat:

$$\frac{V_x}{V_s} = \frac{R_x}{R_s} \rightarrow V_x = \frac{R_x}{R_s} V_s \qquad \text{..... (47)}$$

Jadi tegangan yang diketahui V_x dapat diketahui dari hasil perkalian tegangan yang diketahui V_x dengan ratio tahanan-tahanan R_x/R_s, patut diketahui bahwa

R_s dan R_x hanya tersangkut di dalam kebutuhan sebagai suatu ratio, sehingga harga-harga mutlaknya tidak perlu diketahui.

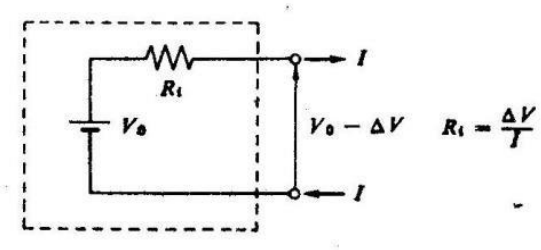
Dengan demikian maka bila posisi s dibuat dengan harga-harga skala dari tegangan standar V_s, dan posisi sikat lainnya dibuat sehingga sesuai dengan harga $V_s(R_x/R_s)$ maka harga harga dari V_x dapat segera dibaca dari posisi skala dimana V_x didapatkan dari keadaan seimbang. Langkah menyeimbangkan yang pertama dengan pertolongan R_h adalah untuk membuat arus potensiometer mencapai suatu harga yang tetap yaitu $I_s = V_s/R_s$ dan setelah langkah ini maka tegangan melalui a – x sesuai dengan posisi dari sikat-sikat akan sama dengan $V_s(R_s/R_x)$. Dengan pengertian ini, maka langkah penyeimbangan yang pertama disebut menstandarisasikan arus potensiometer. Jadi dapat disimpulkan bahwa suatu potensiometer memungkinkan arus tetap mengalir melalui tahanan yang mempunyai rasio yang diketahui secara teliti dan mengukur tegangan yang tidak diketahui, dengan mempersamakannya kepada suatu perkalian dari tegangan yang diketahui.

Cara pengukuran tegangan dimungkinkan karena rasio tadi, tahanantahanan dapat diukur dengan ketelitian yang baik. Lagi pula rasio tersebut akan stabil tanpa dipengaruhi oleh umur. Dalam pengukuran yang mempergunakan prinsip potensiometer ini, maka arus potensiometer harus dibuat tetap diantara kedua langkah menuju kepada keseimbangankeseimbangan yang dimaksudkan di atas.

D.1.2. Ciri-ciri dari Potensiometer

Dari hal-hal yang telah dijelaskan sebelumnya, cara pengukuran dengan potensiometer ini mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

1. Pengukuran dengan potensiometer dapat dibuat tanpa menarik arus dari sumber tegangan V_x atau V_s. Pada umumnya bila arus diambil dari sumber tegangan, maka tegangan terminal dari sumber tersebut akan turun.



Gambar 3.2 Tegangan dan Tahanan Dalam Suatu Sumber Tegangan

Bila arus yang diambil dari sumber tegangan adalah I dan penurunan tegangan pada terminal-terminalnya adalah ΔV, maka sumber tegangan tersebut dapat digambarkan seperti terlihat pada gambar 3.2, dimana V_o adalah tegangan terminal terbuka dan R_i adalah tahanan dalamnya. Tegangan terminal terbuka ini harus diukur tanpa mengambil arus dari sumber tegangan. Tahanan dalam dari sumber tegangan tidak dapat diukur secara terpisah dari sumber tegangan tersebut, dan demikian pula penurunan tegangannya bila arus yang ditarik dari sumber tegangan tersebut tidak pula dapat diketahui. Jadi dapat dimengerti, bahwa dengan mempergunakan potensiometer, maka tegangan terminal terbuka dapat diukur.

2. Pengantar-pengantar yang dipergunakan untuk menghubungkan sumber tegangan mempunyai tahanan. Antara sikat dari potensiometer terdapat pula tahanan-tahanan kontak. Akan tetapi dalam pengukuran dengan potensiometer, arus akan mengalir dalam pengantarpengantar kepada sumber-sumber tegangan maupun melalui sikatsikat, sehingga persamaan-persamaan (45) dan (46) adalah benar, dengan tidak dipengaruhi oleh harga tahanan pengantar maupun tahanan kontak, dan dengan demikian maka tegangan yang sebenarnya dapat diukur. Sebaliknya dengan alat pengukur volt, akan terdapat arus kecil sebesar 1 mA sampai dengan 10 μA yang mengalir melalui alat pengukur volt dalam penggunaannya untuk pengukuran tegangan, dan akan memungkinkan terjadinya kesalahan-kesalahan yang cukup berarti, tergantung dari pada cara pengukuran yang dipakai.
3. Galvanometer yang dipakai sebagai alat deteksi pengukuran keseimbangan, hanya

diperlukan untuk melihat ada atau tidak adanya arus dan tidak memerlukan skala pembacaan. Jadi galvanometer yang mempunyai kepekaan yang tinggi seperti pada tabel 3.1.

Periode (s)	Tahanan kumparan (Ω)	Tahanan luar *critical damping* (Ω)	Sensitivitas arus terkecil (A/mm)	Sensitivitas tegangan terkecil (V/mm)
8	1.100	150.000	2×10^{-10}	$3{,}0 \times 10^{-5}$
8	120	1.000	$7{,}1 \times 10^{-10}$	$8{,}0 \times 10^{-7}$
8	57	60	$2{,}5 \times 10^{-10}$	$2{,}9 \times 10^{-7}$

Tabel 3.1 Beberapa Karakteristik Kerja Suatu Gakvanometer Pantul Jenis Kumparan Putar.

Potensiometer biasanya mempunyai skala dengan batas daerah pengukuran 1,6 sampai 2,0 V. Potensiometer biasanya diklasifikasikan sebagai yang mempunyai tahanan rendah dan yang mempunyai tahanan tinggi. Potensiometer yang mempunyai tahanan rendah adalah 100 Ω ke bawah sedangkan yang mempunyai tahanan tinggi adalah kira-kira 1.000 Ω sampai 10.000 Ω. Arus potensiometer adalah kira-kira 20-30 mA, untuk yang bertahanan rendah sedangkan 0,1 mA untuk yang bertahanan tinggi.

Adalah syarat mutlak bahwa untuk pengukuran dengan potensiometer bahwa arusnya harus tidak berubah antara kedua langkah keseimbangan. Untuk potensiometer yang mempunyai tahanan tinggi, arus yang diambil dari sumber tegangan E adalah cukup kecil, sehingga suatu baterai kering akan dapat mempertahankan arus yang cukup stabil. Akan tetapi dalam penggunaan suatu potensiometer yang mempunyai tahanan rendah, adalah penting untuk mempergunakan sumber tegangan yang mempunyai kapasitasi cukup besar seperti misalnya suatu baterai penyimpan energi listrik.

D.1.3. Contoh-contoh Potensiometer Praktis

Sebagai contoh dari potensiometer yang biasanya dipakai dan yang paling sederhana, akan diperlihatkan. Ini adalah tipe tahanan rendah. Meskipun terdapat berbagai potensiometer yang jauh lebih sulit dalam strukturnya, akan tetapi penjelasan di bawah ini akan memberikan dasar-dasar sebagai pengertiannya.

Pada gambar 3.3, D_1 dan D_2 disebut tombol-tombol pengukur. D_1 mempunyai 15 buah tahanan masing-masing 5 Ω, sedangkan D_2 adalah tahanan geser dengan masing-masing 11 lilitan yang berkorespondensi dengan 300 pembagian pada skala jumlah dari pada tahanan D_1 dan D_2 adalah 80,5 Ω.

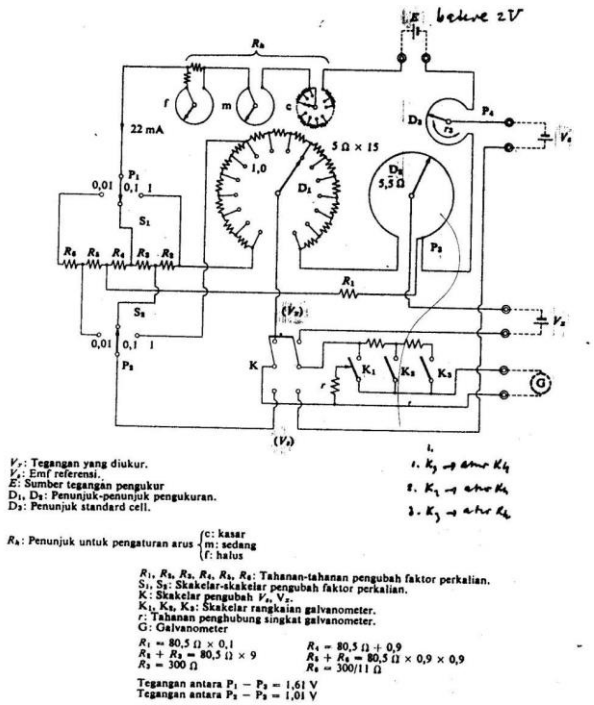
Sebagai sumber tegangan baterai dari 2 V dipergunakan. Penghubung-penghubung S_1 dan S_2 bekerja secara saling mengunci sesamanya, untuk merubah faktor perkalian dalam daerah batas pengukur tegangan. Bila faktor perkaliannya berganti, distribusi tahanan di antara titik P_1 , P_2 dan P_3 dalam gambar, dirubah seperti gambar 3.4. Akan tetapi tanpa tergantung dari pada operasi penghubungan, tahanan antara $P_1 - P_2$ akan selalu sama dengan 80,5 Ω x 10/11, yang dapat dilihat dari suatu perhitungan, dengan memperhitungkan harga-harga tahanan mulai dari harga R_1 sampai dengan R_5 , seperti diperlihatkan pada gambar 3.3.

Arus yang mengalir melalui tombol-tombol D_1 maupun D_2 pada posisi-posisi penghubung yang tertentu, adalah 20 mA, 2 mA dan 0,2 mA seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini.

Batas pengukuran yang sesuai adalah 1,61 V; 0,161 V dan 0,0161 V, masing-masingnya. Tegangan melalui $P_2 - P_3$ adalah 1,01 V tanpa tergantung dari operasi penghubung.

Dengan *rheostat* R_h yang dapat diatur sehingga tegangan yang melalui $P_2 - P_1$ adalah 1,01 V seperti yang dijelaskan di atas, batas pengukuran dari potensiometer ini dapat berubah dalam 3 langkah dari operasi penghubung S_1 dan S_2. Namun demikian arus yang diambil dari sumber tegangan, tidak akan tergantung dari pada operasi penghubung.

Arus yang mengalir dari sel standar D_3 tidak tergantung dari penghubung pengatur batas ukur. Jadi, bila jumlah dari tegangan melalui $P_3 - P_4$ dan $P_2 - P_3$ dibuat sama dengan tegangan dari sel standar, maka operasi dari penghubung daerah batas pengukuran dapat dijalankan secara betul. Tegangan dari sel standar adalah kira-kira 1,01865 V, meskipun akan tergantung dari temperatur dan memperlihatkan sedikit perbedaan antara berbagai sel-sel standar.



Gambar 3.3 Rangkaian Potensiometer

Jadi tombol D_3 *dikalibrasikan* dengan tegangan yang dibangkitkan melalui P_2 – P_4 bila arus seluruhnya adalah 22 mA.

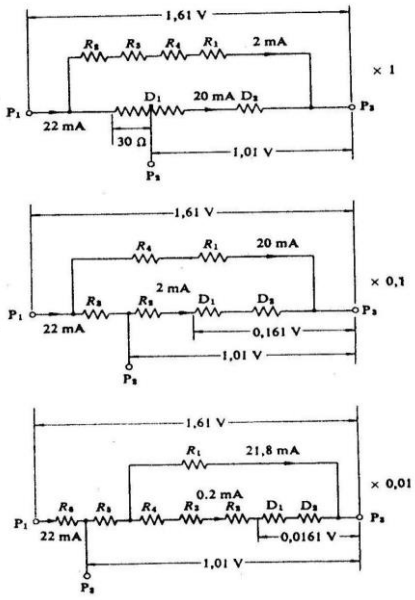
Prosedur untuk penggunaan potensiometer adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan E, V_s, V_x dan G kepada potensiometer.

2. Pindahkan penghubung K kepada sisi V_s

3. Pilihlah daerah pengukuran dengan memperkirakan harga dari V_x, dan tempatkan S_1 dan S_2 untuk memenuhinya.

4. Tempatkan tombol D_3 kepada harga tegangan dari sel standar yang dipergunakan (seperti ditentukan dari *kalibrasinya* kepada temperatur ruangan).



Gambar 3.4 Diagram Pembagian Tahanan Untuk Setiap Posisi Faktor (Dari Gambar 3.3)

5. Tutuplah penghubung K_3 dan aturlah R_h untuk membalansir Galvanometer G, kemudian tutup K_2 dan atur R_h, selanjutnya tutup K_1 dan atur R_h. agar galvanometer tidak mengalami kerusakan– kerusakan. Misalnya kemungkinan terbakar pada saat permulaan dimana titik keseimbangannya belum bisa didekati. Urutan dari menghubungkan yang harus dilihat dengan menempatkan tahanan yang tertinggi, dengan memakai K_3 dan diikuti dengan langkah-langkah tahanan-tahanan yang lebih kecil dengan mempergunakan K_2 dan K_1 dari pada jaringan Galvanometer.

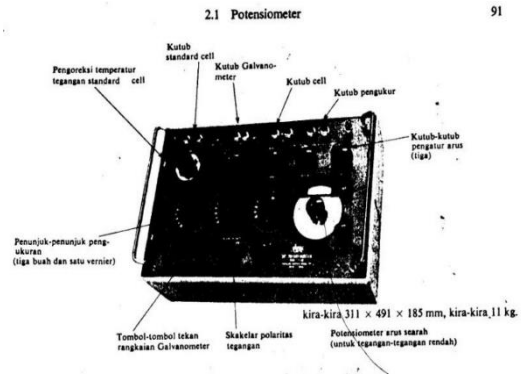
   Bila penghubung-penghubung ditutup melalui cara berurutan mulai dari K_3 ke K_2 dan K_1, secara beurutan, keseimbangan yang lebih halus akan dapat dicapai, dan R_h kemudian diikuti pengaturannya melalui c (kasar) m (medium) dan f (halus), pada saat K_1 terbuka, tambahan dimasukkan pada sisi r dan dengan demikian G dihubung pendekkan melalui r. Ini akan memungkinkan galvanometer G untuk tidak *bervibrasi* secara berlebihan.

6. Pada saat ini potensiometer telah siap untuk dipakai, kemudian putarlah K kepada sisi V_x, dan aturlah D_1 dan D_2 sambil menutup penghubung-penghubung secara berurutan dari K_3 ke K_2 ke K_1 untuk membalansirkan

dengan tegangan yang diatur V_x bacalah tomboltombol D_1, D_2.

7. Untuk meyakinkan bahwa arus potensiometer telah dibiat tetap selama langkah-langkah 5 dan 6 dijalankan, putarlah K kembali kepada sisi V_s dan periksalah kondisi dari keseimbangan. Bila perubahan telah terjadi aturlah R_h kembali.

8. Biasanya pada waktu pemindahan dari K antara sisi V_s dan sisi V_x, secara berurutan kesisi V_s kemudian kesisi V_x kembali kesisi V_s, kembali kesisi V_x kembali kesisi V_s maka harga Vx dibaca dan harga rata-rata dari pembacaan tersebut diambil. Bila pengaturan kembali dari R_h diperlukan oleh setiap keadaan seimbang pada sisi V_s, maka ini memperlihatkan bahwa sumber tegangan E tidak cukup kapasitasnya atau terdapat penyimpangan-penyimpangan lain.

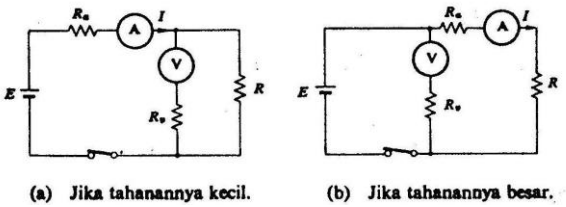


Gambar 3.5 Potensiometer

9. Rubahlah polaritas dari E, V_s dan V_x dan ulangi langkah 5 sampai dengan 8 untuk harga V_x. harga rata-rata yang didapatkan dari 7 dan 8 akan memberikan harga V_x yang dicari. Gambar 3.5 memperlihatkan bentuk potensiometer yang agak berbeda sedikit seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.3. Hal ini menolong kita dalam mengerti prosedur yang dijelaskan di atas.

D.2. Pengukuran Tahanan Listrik

Tahanan dari pengantar listrik adalah hasil bagi dari kerugian tegangan melalui pengantar, terhadap arus yang mengalir melaluinya (Hukum Ohm). Dengan demikian maka tahanan dapat diukur dengan alat pengukur volt, dan alat pengukur ampere, seperi diperlihatkan pada gambar 3.6 dimana R_a dan R_v adalah tahanan dalam dari alat pengukur ampere dan alat pengukur volt masing-masingnya.



Gambar 3.6 Pengukuran Tahanan dengan Metode Voltmeter – Amperemeter

Dalam keadaan (a) arus I yang diukur dengan pengukur ampere mengalir melalui tahanannya yang akan diukur R dan alat pengukur volt adalah paralel dengannya. Dengan demikian maka arus yang mengalir dalam R tidak diukur secara teliti (kerugian tegangan melalui R diukur secara teliti). Bila R_v adalah jauh lebih besar dari R sehingga arus yang melalui alat pengukur volt dapat diabaikan, maka hubungan (a) adalah baik. Sebaliknya bila R_a jauh lebih kecil dari R maka hubungan pada (b) adalah lebih baik.

Catatan: Misalkan bahwa pembacaan-pembacaan alat pengukur ampere dan alat pengukur volt masing-masing adalah I dan V maka R dalam gambar 3.6 dapat diberikan sebagai: $I/R = I/V - I/R_v$, untuk keadaan (a) sedangkan $R = V/I - R_a$ untuk (b).

Pengukuran-pengukuran tahanan mendapatkan penggunaannya yang sangat luas, seperti misalnya pengukuran isolasi, tahanan tanah, tahanantahanan material, pengukuran-pengukuran temperatur, maupun tekanantekanan dalam material.

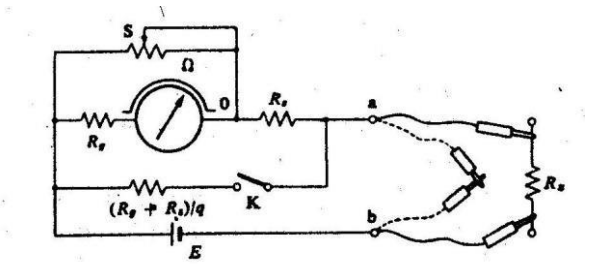
Daerah-daerah pengukuran tahanan dalam pengukuran-pengukuran tersebut adalah sangat luas mulai dari 0,0001 Ω sampai dengan 10.000 MΩ. Ketelitian pengukuran yang diperlukan pun banyak berbeda mulai dari pengukuran yang sangat kasar sebesar 10% sampai dengan yang seteliti sebesar 0,0001%.

Dengan demikian maka cara pengukuran yang diberikan pada gambar 3.6 adalah sering tidak mencukupi, berbagai cara pengukuran akan dijelaskan berikut ini.

D.2.1. Alat-Alat Pengukuran Tahanan dengan Pembacaan Langsung

Pengujian jaringan adalah alat ukur yang mempunyai batas pengukuran berganda, yang terdiri dari satu alat pengukur ampere yang dikombinasikan dengan *shunt* perkalian dan pengarah arus. Dengan alat pengukur ini maka besaran-besaran arus searah maupun arus bolak-balik dapat diukur dengan mudah. Hal ini terutama untuk tegangan-tegangan. Kemudian bila alat ini dilengkapi dengan baterai maka akan memungkinkan untuk pengukuran tahanan secara langsung.

Di bawah ini melalui sirkit diperlihatkan pada gambar 3.7, yang menyatakan penguji jaringan dan dapat dipergunakan untuk pengukuran tahanan dengan pembacaan langsung, akan dijelaskan lebih lanjut.



Gambar 3.7 Pengukuran Tahanan dengan Memakai Suatu Tester Rangkaian

R_g adalah tahanan dari alat-alat pengukur ampere penunjuk, biasanya terminal-terminal a dan b untuk pengukuran tahanan diberikan dengan pengantar-pengantar khusus.

Hubungkanlah pengantar pengukuran tersebut kepada terminal, dan hubungkan pendek kedua pengantar tersebut pada kedua ujung-ujungnya seperti diperlihatkan dengan garis patah-patah dalam gambar (K harus tetap terbuka). Aturlah tahanan S sedemikian rupa sehingga alat penunjuk ampere menunjukkan pada skala penuh. Bila arus yang mengalir dalam alat penunjuk ampere pada saat ini dinyatakan dengan I_o, maka arus yang mengalir melalui R adalah $I_o/(R_g + S)/S$ (tombol pengatur untuk S didapat pada bagian depan dari panel alat pengukur).

Nyatakanlah tahanan paralel dari R_g dan S sebagai R_l. Maka dengan notasi dari $K = (R_g + S)/S$ kita mendapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{E}{R_S+R_l} = kl_o \qquad \text{.....(48)}$$

Kemudian bukalah hubungan pendek dari pengantar-pengantar pengukuran tersebut dan hubungkan ujung-ujungnya kepada tahanan yang akan diukur R_x. Bila arus yang mengalir melalui alat pengukur Ampere pada saat ini adalah I, maka:

$$\frac{E}{R_S+R_l+R_x} = k\,I \qquad \text{.....(49)}$$

Dengan mempergunakan hasil bagi dari persamaan (48) dan persamaan (49) diperoleh:

$$\frac{R_S+R_l+R_S}{R_S+R_l} = \frac{I_o}{I} \qquad \text{.....(50)}$$

Dengan demikian maka:

$$R_x = (R_s + R_l)\left(\frac{I_o}{I} - 1\right) \qquad \text{.....(51)}$$

Adalah suatu kebiasaan dalam praktek untuk membuat S jauh lebih besar dari R_g, dan dapat dikatakan bahwa R_l hampir mendekati R_g, jadi akan didapat:

$$R_x = \left(R_s + R_g\right)\left(\frac{I_o}{I} - 1\right) \qquad \text{.....(52)}$$

Yang menyatakan bahwa R_x bisa didapat dengan mengukur besar arus I. Dalam hal ini perlu diperlihatkan bahwa R_s dan R_g dianggap diketahui.

Dari persamaan (52) dapat diketahui, bahwa tahanan sebesar 0 Ω akan menyebabkan arus I_o mengalir melalui alat pengukur ampere, sedangkan bila arus yang mengalir melalui alat pengukur ampere adalah $I_o/2$, maka $R_x = R_s + R_g$. Jadi dengan persamaan tersebut, maka skala dapat dibuatkan tidak terhadap arus akan tetapi langsung terhadap tahanan, sehingga dengan demikian besar tahanan bisa langsung didapat dari pembacaan pada penunjukan.

Dengan alat pengukur ampere adalah mungkin untuk membaca perubahan sebesar kira-kira 3% dari skala penuh. Jadi bila $I = 0{,}97\ I_o$ maka $R_x =$

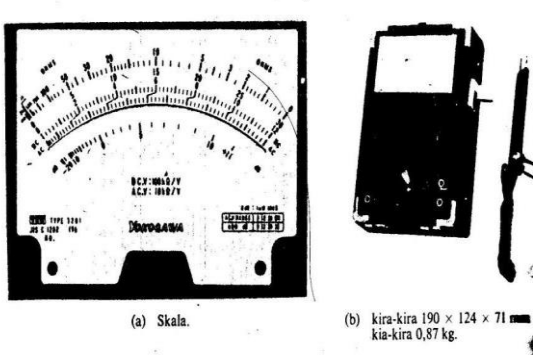
$0{,}03(R_s + R_g)$, dan bila $I = 0{,}03\ I_o$ maka $R_s = 30\ (R_s + R_g)$, adalah harga tahanan pada pertengahan skala. Jadi dengan alat ukur tahanan dari tipe yang disebutkan ini, adalah mungkin untuk membaca secara langsung tahanan-tahanan dari kira-kira 0,03 sampai 30 kali dari harga pertengahan skala.

Bila penghubung K ditutup, arus yang sama seperti arus yang lalu akan mengalir ke dalam alat pengukur ampere, untuk tahanan luar $R_s/10$. Jadi daerah pengukuran tahanan dapat dirubah.

Alasan mengapa suatu tahanan S ditempatkan secara paralel dengan alat pengukur ampere adalah sebagai berikut:

Tegangan baterai E akan menurunkan harganya terhadap waktu penggunaan. Akan tetapi bila $R_s = 0$, I_o harus mengalir kedalam alat pengukur ampere. Jadi dengan mengatur S, k agak dirubah harganya sehingga mengkompensasikan untuk variasi yang terdapat pada tegangan E. Sedangkan terhadap nilai dari k, harga tersebut dipersyaratkan hanya untuk tetap pada saat pengukuran tahanan diadakan, dengan demikian maka pengukuran yang besar dapat dijamin.

Pada gambar 3.8 memperlihatkan penguji alat-alat jaringan yang biasanya dipergunakan. Batas pengukurannya dapat dirubah dalam tiga batas, yaitu
0 ke 1 kΩ, 0 ke 100 kΩ dan 0 ke 10 MΩ.

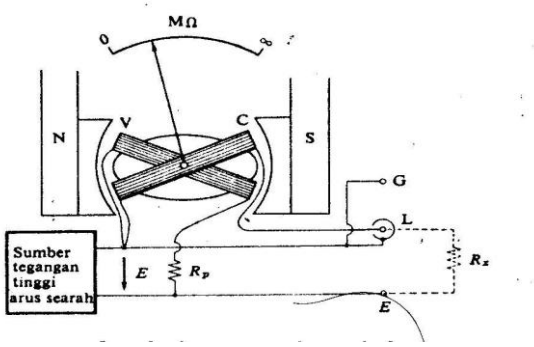


(a) Skala. (b) kira-kira 190 × 124 × 71 mm kia-kira 0,87 kg.

Gambar 3.8 Rangkaian Tester

D.2.2. Pengujian Tahanan Isolasi

Telah dijelaskan semula bahwa pengukuran tahanan dapat dilakukan dengan mempergunakan alat ukur ratio tipe kumparan putar. Seperti diperlihatkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Tester Tahanan Isolasi

Dua Kumparan V dan C ditempatkan secara menyilang. Pada kumparan V, arus sebesar V/R_p mengalir pada kumparan C, arus dari E/R_x mengalir, disini R_x adalah tahanan yang akan diukur. Penunjuk dari alat penunjuk ratio akan bergeser, dan pergeseran ini ditentukan oleh ratio dari kedua arus, yaitu sebanding dengan R_p/R_x atau dengan kata lain berbanding secara terbalik terhadap besar tahanan yang akan diukur. Jadi hasilnya tidak ditentukan oleh tegangan dari sumber tegangan arus searah. Dengan demikian maka variasi yang tidak terlalu besar dari tegangannya tidak akan memberikan pengarah kepada harga pembacaannnya.

Pada umumnya, sumber tegangan arus searah adalah sumber tegangan tinggi, yang dibuat oleh pembangkit yang diputar dengan tangan, besar tegangan tersebut pada umunya 100, 250, 1000 atau 2000 V. Daerah pengukuran yang efektif adalah dari 0,02 sampai 20 MΩ dan 5 sampai 5000 MΩ untuk 100 V dan 2000 V sebagai sumber tegangan tinggi arus searahnya.

Alat penguji tahanan isolasi dipergunakan untuk mengukur tahanan isolasi dari alat-alat listrik maupun instalasi-instalasi listrik. Dengan demikian, maka sumber tegangan harus dipilih tidak hanya tergantung dari batas pengukuran, akan tetapi juga terhadap tegangan kerja dari peralatan ukur yang sedang diuji isolasinya. Pada umumnya isolasi yang dianggap cukup untuk tegangan rendah akan tidak bertahan bila tegangan yang lebih tinggi dipergunakan.

Gambar 3.10 Tester Tahanan Isolasi dengan Putaran Tangan

Akhir-akhir ini alat penguji tahanan isolasi yang mempergunakan sumber tegangan tinggi, dari tegangan tetap sebesar 100 sampai dengan 1000 V, yang didapatkannya dari baterai sebesar 8–12 V, telah dikembangkan. Alat ukur ini disebut alat penguji tahanan isolasi dengan baterai, dimana tegangan tingginya diperoleh dari generator arus searah yang diputar dengan tangan.

Gambar 3.10 memperlihatkan bentuk alat ukur yang dimaksud, dimana tegangan arus searah diperoleh dari putaran tangan yang menghasilkan tegangan searah, arah penujuk jarum terlihat nilai tahanan isolasi yang dimaksud.

Alat Ukur Sistem Elektronik

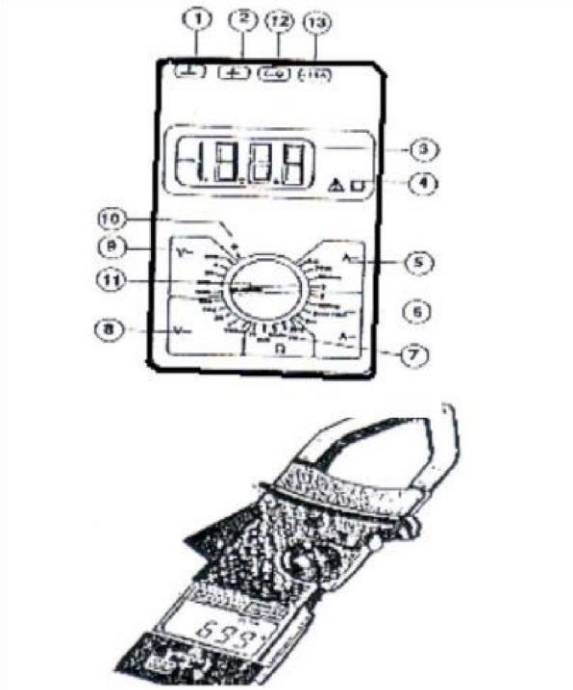
Sesuai dengan perkembangan dan kemajuan teknologi khususnya dalam bidang elektronik tak tertinggal pula kesertaan dari pada alat-alat ukur elektronik. Pada laboratorium dan industri-industri banyak menggunakan alat ukur tipe ini, karena memerlukan kecermatan dalam penunjukan. Untuk harga relatif mahal dibandingkan dengan alat ukur yang bukan elektronik. Pada umumnya alat ukur elektronik adalah digital. Karena penunjukannya berupa nilai angka, maka penggunaan dalam pembacaan sangat sederhana, mudah dicerna. Contoh gambar alat ukur elektronik dapat dilihat pada gambar 3.11.

Keuntungan alat ukur elektronik:

- *Portable*
- Kecermatan tinggi mencapai faktor kesalahan 0,1 – 0,5 %.
- Kedudukan atau posisi alat ukur tidak mempengaruhi penunjukan.

Kelemahan dari alat ukur elektronik:

- Dapat dipengaruhi oleh temperatur ruangan yang tinggi.
- Tidak boleh ditempatkan pada ruangan yang lembab/basah.
- Harga relatif mahal.



Gambar 3.11 Alat Ukur Elektronik

Rangkuman :

1. Potensiometer sebagai alat ukur yang dipergunakan untuk mengukur tegangan dengan membandingkan dengan membandingkan tegangan standar.
2. Sebagai pengukuran untuk tahanan isolasi dapat mempergunakan Mega ohm meter dengan menghubungkan dua buah kabel yang akan diukur, untuk mengetahui apakah ada tegangan tembus antara kabel tersebut.

PENGGUNAAN ALAT UKUR LISTRIK

Mengukur Resistansi Dengan Ohmmeter

Ohmmeter adalah alat yang umumnya tergabung pada multimeter (dengan voltmeter dan amperemeter) yang digunakan untuk mengukur resistansi suatu komponen. Walaupun punya batasan, ohmmeter banyak digunakan di rumah dan di laboraturium untuk mengukur resistansi dari komponen dan untuk menentukan kesalahan pada suatu rangkaian. Selain itu, ohmmeter juga bisa digunakan untuk mengetahui kondisi suatu komponen semikonduktor seperti dioda dan transisitor. Gambar 4.1 menunjukkan ohmmeter baik analog dan digital.

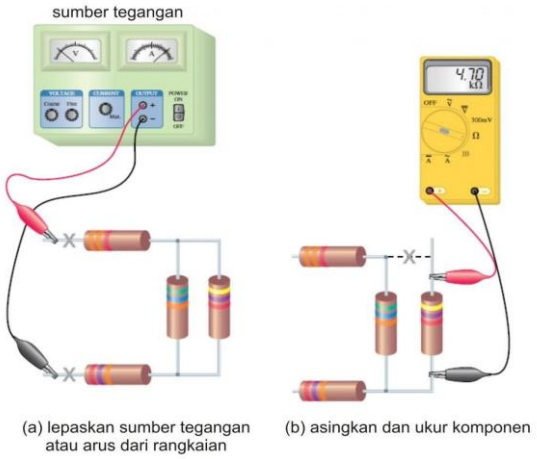
Gambar 4.1 Ohmmeter Analog dan Digital

Untuk mengukur resistansi komponen atau rangkaian yang terisolasi, ohmmeter dipasangkan melintang dari komponen yang akan diukur, seperti ditunjukkan pada gambar 4.2. Kemudian nilai resistansinya akan ditampilkan.

Gambar 4.2 Mengukur Resistansi Menggunakan Ohmmeter

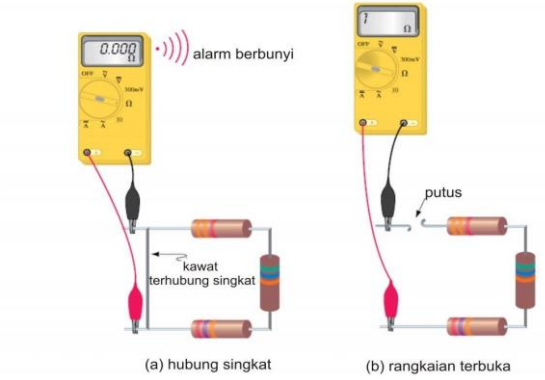
Ketika menggunakan ohmmeter untuk mengukur resistansi suatu komponen pada suatu rangkaian yang beroperasi, berikut caranya:

1. Seperti pada gambar 4.3, lepaskan semua suplay daya dari rangkaian atau komponen yang akan diukur. Bila langkah ini tidak dilakukan, maka pengukuran ini akan menjadi sia-sia dan ohmmeter bisa rusak.
2. Jika anda hanya ingin mengukur resistansi dari satu komponen saja pada suatu rangkaian, maka komponen yang akan diukur harus “diasingkan” dari rangkaian tersebut dengan cara memutuskan minimal satu terminal komponen tersebut dari rangkaian. Bila cara ini tidak dilakukan, maka hasil pembacaan dari ohmmeter bukanlah menunjukkan resistansi dari komponen yang anda maksud, namun resistansi gabungan dari komponen-komponen pada rangkaian itu.
3. Seperti tampak pada gambar 4.3 (b), hubungkan kedua probe (penunjuk) dari ohmmeter melintasi komponen yang diukur. Penjepit hitam dan merah dari ohmmeter boleh ditukar-tukar posisinya untuk mengukur resistor tersebut. Namun ada beberapa ohmmeter dimana posisi penjepit merah dan hitamnya mempengaruhi pembacaan nilai resistansi.



Gambar 4.3 (b). Sumber Tegangan atau *Power Supply* Harus Dimatikan Saat Melakukan Pengukuran Resistansi

4. Pastikan bahwa skala range pembacaan ohmmeter dipilih secara tepat, sehingga hasil pembacaannya akurat. Misal, walaupun multimeter digital (DMM) dapat membaca niai resistor yang mempunyai nilai resistansi sebesar 1.2kΩ pada skala range 2MΩ, ohmmeter yang sama akan memperoleh pembacaan digit yang lebih akurat (detail) sehingga pembacaannya lebih presisi ketika dipilih skala range 2-kΩ. Untuk yang analog, akurasi pembacaan yang terbaik diperoleh apabila jarum penunjuknya berada di tengah-tengah skala pembacaan.
5. Ketika anda telah selesai menggunakan ohmmeter, matikan ohmmeter tersebut. Karena ohmmeter menggunakan baterai internal untuk mendeteksi arus, apabila kedua probe tidak sengaja bersentuhan, maka baterai multimeter anda akan "tersedot".



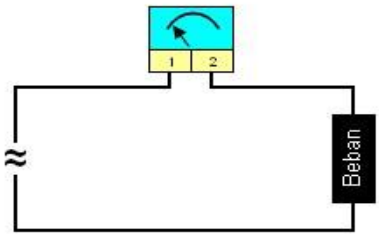
Gambar 4. 4 Kondisi Rangkaian *Short Circuit* dan *Open Circuit*

6. Selain untuk mengukur resistansi, ohmmeter bisa juga digunakan untuk mengetes kekontinuan/sambungan suatu rangkaian (*continuity test*). Banyak ohmmeter digital yang modern bisa mengeluarkan bunyi untuk mengindikasikan bahwa suatu rangkaian terputus dari suatu titik ke titik yang lain. Seperti tampak pada gambar 4. 4 (a), ohmmeter digital yang bisa mengeluarkan suara membantu penggunanya untuk mendeteksi suatu sambungan pada suatu rangkaian tanpa melihat langsung menggunakan mata. Umumnya ohmmeter berguna sebagai alat yang dapat mendeteksi suatu rangkaian dalam keadaan terhubung singkat (*short circuit*) atau terbuka (*open circuit*). Hubungan singkat (*short circuit*) terjadi ketika konduktor yang lazimnya mempunyai resistansi yang sangat rendah terhubung dengan konduktor lain diantara dua titik pada suatu rangkaian. Karena resistansi yang rendah inilah hubungan singkat terjadi, arus akan melangkahi (*bypass*) rangkaian yang seharusnya dilewati karena arus ini akan memilih jalur yang terhubung singkat tadi. Ohmmeter akan menunjukkan nilai resistansi yang sangat rendah (secara teori sama dengan nol) ketika digunakan untuk mengukur rangkaian yang terhubung singkat ini. Rangkaian terbuka (*open circuit*) terjadi ketika suatu konduktor rusak diantara kedua titik yang diukur. Ohmmeter akan menunjukkan pembacaan nilai resistansi yang sangat besar sekali (secara teori tak hingga) ketika mengukur rangkaian yang terbuka. Gambar 4.4b menggambarkan rangkaian yang mempunyai hubung singkat dan rangkaian terbuka.

Alat Ukur Amperemeter

Cara penyambungan dari meter arus adalah dengan menghubungkan seri dengan sumber daya listrik (*power source*) pada gambar 4.6 dan berikut contoh dari amperemeter dapat dilihat pada gambar pada gambar 4.5.

Gambar 4.5 Amperemeter



Gambar 4.6 Rangkaian Penyambungan Amperemeter dengan Sumber Listrik

Pengukuran Tegangan

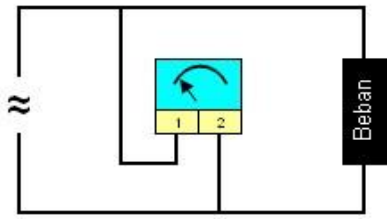
Sebuah voltmeter digital lihat gambar 4.7, digunakan untuk pengukuran tegangan yang sangat akurat. Instrumen ini mengukur perbedaan potensial listrik antara dua konduktor dalam sebuah rangkaian listrik.

Alat dihubungkan secara paralel pada setiap sisi dari rangkaian yang diuji. Terminal positif meter harus dihubungkan paling dekat dengan *power supply*, dan terminal negatif harus dihubungkan setelah sirkuit yang sedang diuji. Dial analog atau tampilan digital akan menunjukkan pengukuran tegangan. Sebuah voltmeter digital biasanya terdiri dari pengubah analog ke digital dengan tampilan digital. Sinyal analog diubah menjadi kode digital sebanding dengan besarnya sinyal. Tegangan yang diukur dalam volt , atau kilovolt .

Gambar 4.7 Voltmeter Digital

Cara penyambungan dari Voltmeter adalah dengan menghubungkan paralel dengan beban/sumber listrik (*power source*) dapat dilihat pada gambar 4.9.

Gambar 4.8 Voltmeter Analog



Gambar 4.9 Rangkaian Penyambungan Voltmeter dengan Sumber Listrik

Meter Cosphi

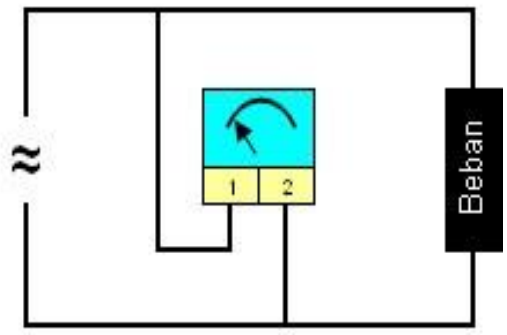
Alat ini digunakan untuk mengetahui, besarnya faktor kerja (*power factor*) yang merupakan beda fasa antara tegangan dan arus. Cara penyambungan adalah sama dengan pengukuran watt meter.

Gambar 4.10 Meter Cosphi

Frekwensi Meter

Frekwensi meter digunakan untuk mengetahui gelombang sinusoidal arus bolak balik yang merupakan jumlah siklus gelombang sinusoidal perdetik *(cycle / second*).

Gambar 4.11 Frekwensi Meter

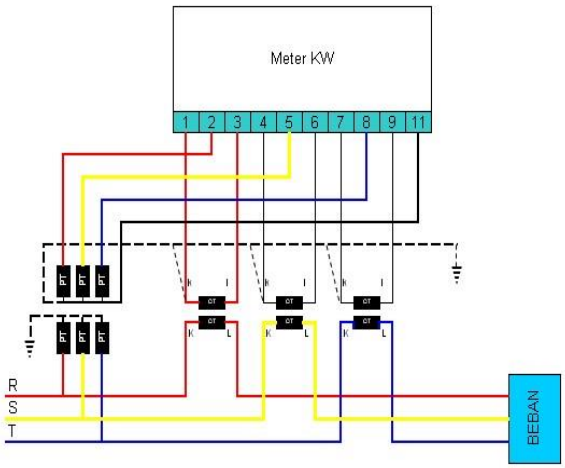


Gambar 4.12 Rangkaian Pemasangan Frekwensi Meter pada Sumber Listrik

Watt Meter

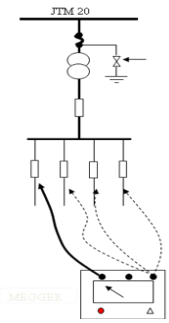
Alat ukur untuk mengetahui besarnya daya nyata (daya aktif) pada watt meter terdapat *spoel*/belitan arus dan *spoel*/belitan tegangan, sehingga cara penyambungan watt meter pada umumnya merupakan kombinasi cara penyambungan voltmeter dan ampere meter.

Gambar 4.13 Watt Meter



Gambar 4.14 Rangkaian Penyambungan Watt Meter dengan Sumber Listrik

Megger



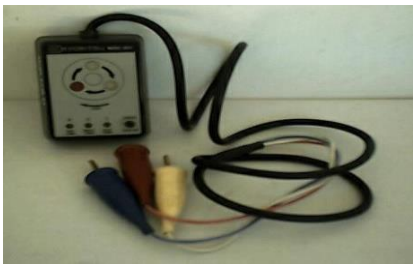
Gambar 4.15 Rangkaian Listrik dari Alat Ukur Megger

Gambar 4.16 Megger

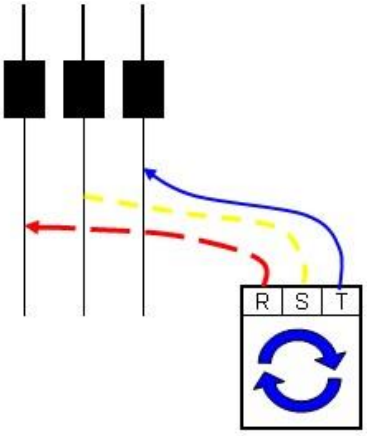
Megger digunakan untuk mengukur tahanan isolasi dari alat listrik maupun instalasi-instalasi, output dari alat ukur ini mempergunakan tegangan tinggi arus searah.

Phase Sequencer

Alat ukur ini digunakan untuk mengetahui benar/tidaknya urutan fasa sistem tegangan listrik 3 phasa.



Gambar 4.17 Phase Sequencer

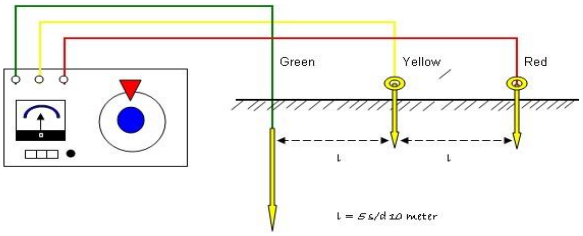


Gambar 4.18 Rangkaian Pemasangan *Phase Sequencer* dengan Sumber Listrik

Earth Tester

Earth tester digunakan untuk mengukur besar tahanan pembumian satuannya ohm.

Gambar 4.19 Earth Tester



Gambar 4.20 Rangkaian Pemasangan *Earth Tester* pada Sumber Listrik

Stop watch

Stop watch berfungsi untuk mengetahui waktu pada suatu pekerjaan yang akan kita ukur, contohnya waktu yang ditempuh putaran piringan kWh meter untuk 5 putaran adalah 25 detik.

Gambar 4.21 *Stop watch*

Rangkuman :

1. Untuk mengukur tahanan dari suatu penghantar (kawat) dapat mempergunakan alat ukur ukur digital yang dihubungkan secara seri dengan alat ukur tersebut dengan sumber untuk pengukuran mempergunakan baterai, saat pengukuran sumber utama yang dimatikan supaya tidak ada dua sumber yang mengalir pada penghantar yang akan diukur.

2. Sebagai pengukuran tegangan, tahanan atau arus dapat mempergunakan alat ukur digital dengan pembacaan hasil pengukuran yang mudah dimengerti.

Lampiran 2

Komponen Utama dan Komponen Penunjang PLTS *Off-Grid*

Komponen Utama dan Komponen Penunjang PLTS *Off-grid*

A. Pendahuluan

Komponen listrik tenaga surya adalah komponen – komponen yang digunakan untuk merakit sebuah pembangkit listrik tenaga surya baik dalam skala rumah tangga ataupun skala industri. Listrik tenaga surya merupakan suatu sumber energi listrik yang berasal dari matahari. Dengan teknologi fotosel, cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik. Untuk dapat merubah cahaya matahari menjadi energi listrik diperlukan suatu alat yang disebut komponen. Komponen – komponen yang digunakan untuk merubah cahaya matahari menjadi energi listrik sangat berbeda dengan komponen – komponen yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik di berbagai pembangkit listrik pada umumnya, oleh karena itu komponen ini dinamakan komponen listrik tenaga surya.

Komponen listrik tenaga surya ini membentuk satu kesatuan yang terorganisasi sedemikian rupa sehingga dapat bekerja secara maksimal. Jika salah satu komponen tersebut rusak atau tidak dapat digunakan, maka proses perubahan energi cahaya menjadi energi listrik dapat terganggu.

Komponen utama listrik tenaga surya, meliputi :

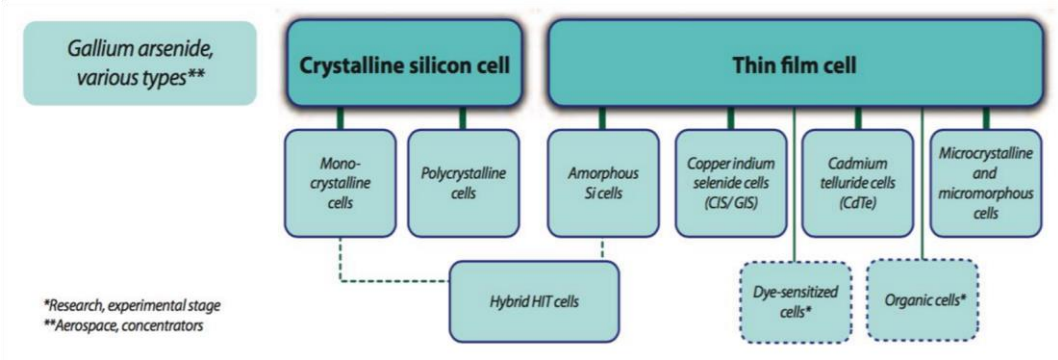
1. **Panel surya**
   Panel surya adalah komponen utama pada pembangkit listrik tenaga surya. Panel surya berfungsi untuk merubah cahaya matahari menjadi listrik. Panel surya ini terdiri dari sel-sel surya fotovoltaik (*photovoltaic solar cell*) yang dirangkai secara seri dan pararel. Tanpa komponen ini energi listrik tidak dapat dihasilkan.
2. **Regulator**
   Regulator adalah panel pengendali atau pengatur atau *Controller*. *Controller* ini biasanya terintegrasi dengan sebuah kotak terminal baterai. *Controller* adalah perangkat elektronik yang umumnya berbentuk kotak yang berfungsi untuk mengatur aliran listrik dari panel surya ke baterai atau aki menuju ke perangkat elektronik yang ada di rumah.
3. **Inverter**
   Inverter adalah seperangkat alat yang tersusun dari rangkaian-rangkaian komponen elektronika dimana fungsinya mengubah arus searah (*Direct Curent* disingkat DC) menjadi arus bolak-balik (*Alternating Curent* disingkat AC). Inverter ini dapat kita jumpai pada berbagai macam jenis paralatan elektronika. Tanpa alat ini arus DC yang dihasilkan oleh panel surya tidak akan dapat digunakan secara langsung oleh alat alat ekektronika yang umumnya membutuhkan arus AC sebagai pasokan daya utamanya.
4. **Baterai**
   Baterai adalah sebuah alat yang digunakan untuk menyimpan tenaga listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga surya sehinga bisa di gunakan kapan saja selama dibutuhkan. Tanpa baterai maka energi surya hanya dapat digunakan pada saat ada sinar matahari saja karena tidak ada alat penyimpan energinya.

Penjelasan yang lebih detail dari masing-masing komponen listrik tenaga surya akan dibahas pada bagian selanjutnya.

B. Sel Surya Fotovoltaik (*photovoltaic solar cell*)

Jenis sel surya fovovoltaik atau sel *photovoltaic* (PV) yang saat ini umum dipakai adalah tipe *silicon crystaline* dan sel surya *thin film*. Sel surya tipe *silicon crystaline* terdiri dari bahan semikonduktor seperti *mono-crystalline* dan *poly-crystalline*. Untuk sel surya tipe *thin film* terdiri dari *cadmium telluride (CdTe)*, *Copper Indium Gallium Diselenide* (CIGS), and *amorphous thin-film silicon* (a-Si, TF-Si) yang dapat mengubah efek *photovoltaic* pada irradiasi sinar matahari menjadi listrik. Ketika sel surya menyerap sinar matahari, akan terjadi perpindahan elektron bebas di sambungan negatif dan positif sel-selnya. Apabila sambungan positif dan negatif dari sel surya terhubung ke beban arus searah (rangkaian peralatan listrik

DC) maka arus akan mengalir kerangkaian beban DC. Gambar 1. dibawah ini menjelaskan tipe-tipe dari sel surya.

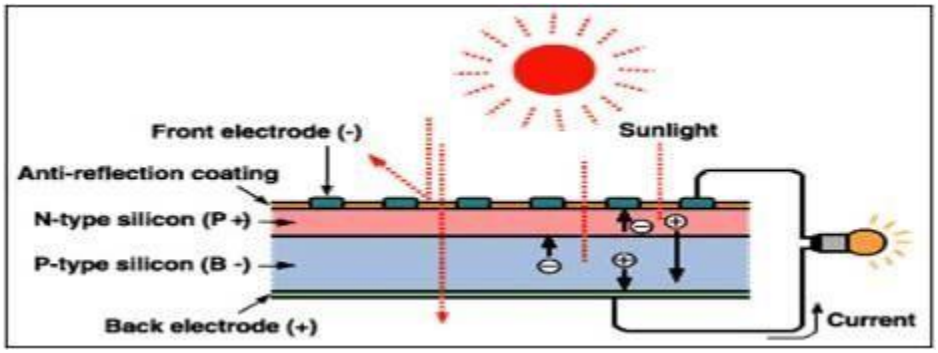


Gambar 1. Tipe Solar Sel

B.1. Proses Reaksi Sel Surya Pada Efek *Photovoltaic*

Efek *photovoltaic* merupakan akibat terciptanya tegangan atau arus listrik setelah terpancar sinar matahari dalam bahan semikonduktor modul surya. Standar efek *photovoltaic* secara langsung terkait dengan efek fotolistrik. Ketika sinar matahari atau insiden cahaya lain pada permukaan material, elektron hadir dalam pita valensi yang menyerap energi dan antusias melompat ke pita konduksi dan menjadi elektron bebas. Elektron non termal menyebar, dan beberapa mencapai ke *junction box* menghasilkan gaya gerak listrik, dan dengan demikian sebagian energi cahaya diubah menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* juga dapat terjadi ketika dua foton diserap secara simultan dalam proses yang disebut efek *photovoltaic* dua foton. Proses kerja solar sel dalam menghasilkan tenaga, tegangan serta arus. Tegangan yang dihasilkan dalam sel surya dengan proses konversi tumbukan elektron – elektron yang dikenal sebagai "efek *photovoltaic*". Penggumpalan intesitas irradiasi cahaya yang dihasilkan oleh persimpangan PN menyebabkan pergerakan elektron ke sisi tipe-n dan ke lubang atau hole ke sisi tipe-p pada persimpangan kovalen bond.

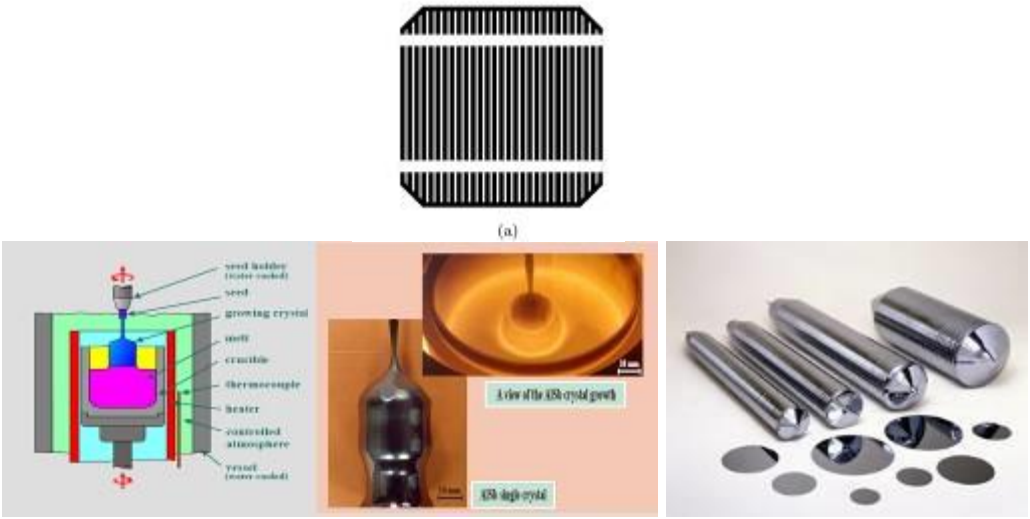
Pada gambar 2. dibawah ini menjelaskan mengenai efek *photovoltaic*.



Gambar 2. Efek *Photovoltaic*

B.2. Pembuatan Sel *Photovoltaic* Single Kristal Silikon/MonoKristal

Pembuatan Sel *Photovoltaic* Single Kristal Silikon/Monokristal Single kristal silikon atau monokristal silikon dibuat dengan mengiris wafer tipis dari panjang batang silinder rod menjadi silikon kristal tunggal Silikon material mempunyai kemurnian tinggi yaitu 99,999% dengan efisien 15% sampai dengan 18%. Cara pembuatan dengan sel surya atau sel *photovoltaic* dengan metode *Czochralski.* Proses pembuatan produksi selsel ini sangat mahal dan panjang dalam menciptakan silikon.



Gambar 3. Proses Pembuatan Sel Surya Single Kristal/Sel

Surya Monokristal

Proses ini langsung dari cairan silikon dengan pita kapiler membentuk *wafer single cristal* atau monokristal seperti pita kapiler. Dengan lebar 5 – 10 cm dan ketebalan 250 – 350 mikrometer. Pada gambar 3. mengenai proses pembuatan sel surya single kristal.

B.3. Sel Surya *Photovoltaic* Polikristal

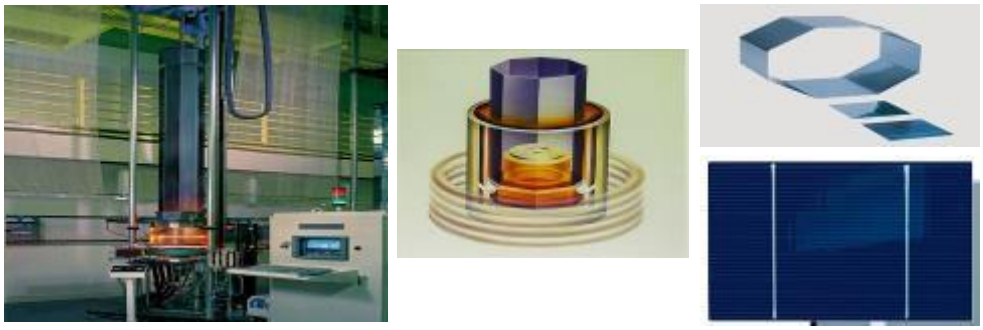
Sel surya fotovoltaik polikristal terbuat dari lebih dari satu silikon kristal. Sel surya polikristal terbentuk ketika silikon cair dituangkan ke dalam cetakan *(casting)* dan didinginkan untuk membentuk ingot. Ingot tersebut kemudian dipotong menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dengan ukuran 40 x 40 cm^2, kemudian diiris menjadi wafer tipis. Sel surya polikristaline mempunyai efisiensi (12 – 14%). Produksi pembuatan sel surya polikristaline lebih murah dibandingkan sel surya monokristal. Pada gambar 4. mengenai proses pembuatan sel surya polikristaline dan pada gambar 5. mengenai hasil pembuatan sel surya polikristaline.

Gambar 4. Proses Pembuatan Sel Surya Polikristaline

Gambar 5. Hasil Pembuatan Sel Surya Polikristaline

B.4. Sel Surya *Thin film*

Sel surya *thin film* cadmium telluride (CdTe), copper indium gallium diselenide silikon (CIGS), and amorphous *thin film* silicon (a-Si, TF-Si), Cadmium telluride (CdTe), copper indium gallium diselenide silikon (CIGS), and amorphous thin-film silicon (a-Si, TF-Si), thin filim silicon adalah *thin film* teknologi sel surya tertua.



Gambar 6. Proses Produksi Pembuatan *Thin Film*

Paduan silikon mono kristal yang didepositkan langsung ke bahan alas, baik biasanya kaca atau logam. Efisiensi sel surya *thin film* (5 – 6%) dengan biaya material dan biaya produksi pembuatan jauh lebih murah dibandingkan sel surya monokristal atau sel surya polikristal. Seperti ditunjukkan pada gambar 6. mengenai proses produksi pembuatan *thin film*.

B.5. Pengertian Definisi Modul Surya dan Panel Surya

Photovoltaics atau Solar PV adalah Modul yang mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi arus listrik. Bahan-bahan tertentu, seperti silikon, secara alami melepaskan elektron ketika mereka terkena cahaya, dan elektron ini kemudian dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan arus listrik. Panel *photovoltaics* menghasilkan arus listrik searah/*direct current* (DC), yang harus dikonversi ke arus listrik AC *(Alternating Current)*, sebuah inverter digunakan untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC untuk menjalankan peralatan rumah tangga standar yang umumnya bertegangan 220 Volt. Jumlah listrik yang dihasilkan inverter diukur dalam Watt (W). Dengan asumsi efisiensi power inverter 90%, untuk menentukan kebutuhan listrik cadangan.

B.5.1. Definisi Modul Surya

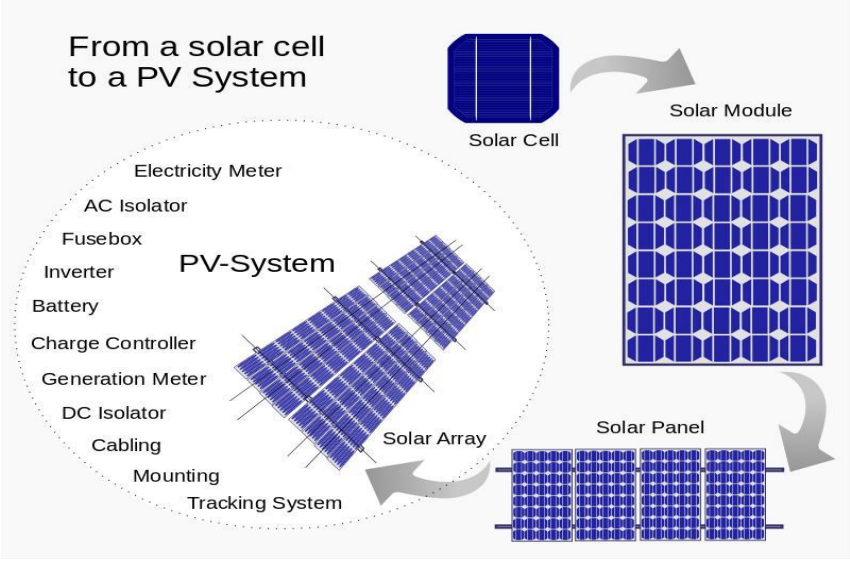
Modul surya adalah sekelompok sel surya yang dirangkai dan dihubungkan secara seri maupun paralel. Modul surya dikemas dalam sebuah laminasi pelindung terhadap lingkungan. Daya modul surya dalam besaran satuan wattpeak yang dikombinasikan jumlah sel surya terpasang pada modul surya tersebut. Pada umumnya modul surya mampu bertahan 20 hingga 25 tahun, khususnya untuk modul *monosingle*

crystalline. Modul tipe ini dirancang untuk masa operasi 30 tahun pada saat perancangan dengan acuan kondisi laboratorium pengujian. Sel-sel silikon itu sendiri tidak mengalami kerusakan atau degradasi bahkan setelah puluhan tahun pemakaian. Namun demikian, *output* modul akan mengalami penurunan dengan berjalannya waktu. Degradasi ini diakibatkan oleh dua faktor utama yaitu rusaknya lapisan atas sel *Ethylene Vynil Acetate* (EVA) dan lapisan bawah (*Polyvinyl Fluoride Film*) secara perlahan-lahan, serta kerusakan secara alami EVA yang terjadi secara bertahap di antara lapisan gelas dan sel-sel itu sendiri. Seperti ditunjukkan pada gambar 7. mengenai modul surya.

Gambar 7. Modul Surya

B.5.2. Definisi Panel Surya

Panel surya adalah beberapa kelompok modul surya yang disusun diatas struktur penyangga akan membentuk bangunan blok – blok dalam satu string dan sebagai dasar pembentukan PV *Array*. Pada PLTS terpusat pemeliharaan rangkaian panel surya adalah pada pengkabelan antara satu modul dengan modul lainnya. Pemeriksaan berkala pengkabelan terhadap kemungkinan lepas atau kendor sangat diperlukan untuk menjaga aliran listrik tetap masuk. Pada PLTS *solar home system* (SHS) pemeliharaan modul sama dengan pemeliharaan pada PLTS terpusat, rangkaian modul surya agar tetap dapat berfungsi adalah menjaga rangkaian seri sel surya (*string*) dalam modul tidak terputus, karena apabila *string* dalam modul ini terputus maka arus listrik tidak dapat mengalir. Pemeliharaan rangkaian modul juga ada pada *junction box* (kotak penghubung) dibagian bawah modul surya, didalam kotak penghubung terdapat terminal positif dan negatif untuk menyalurkan arus listrik ke beban, seperti pada gambar 8. siklus pembentukan modul surya, panel surya, surya *array*.



Gambar 8. Siklus Pembentukan Modul Surya, Panel Surya, Surya *Array*

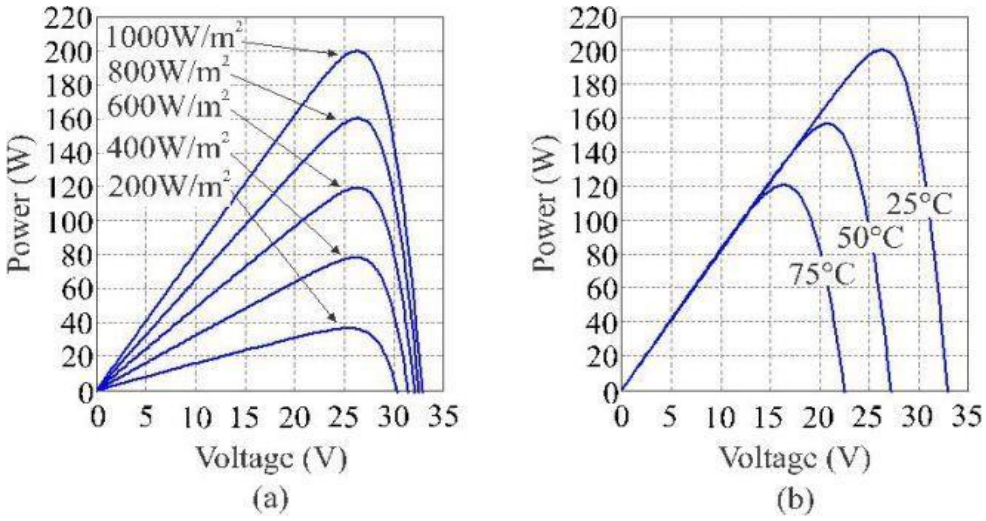
B.5.3. Definisi PV *Array*

Keberadaan sumber energi Matahari sangat berlimpah, sehingga penerapan teknologi fotovoltaik (PV) untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah yang belum terjangkau jaringan listrik cukup potensial untuk dikembangkan. Dalam pengoperasiannya, kinerja PV sangat dipengaruhi oleh kondisi klimatologi daerah setempat (suhu lingkungan dan radiasi Matahari) dan parameter listriknya (short circuit current, opern circuit voltage, suhu sel PV, MPP, dan sebagainya) Pembentukan surya *array* atau PV *Array* terdiri dari dua atau lebih panel surya yang terhubung bersama-sama secara rangkaian seri dan paralel. Kabel listrik PV *array* secara elektrik dihubungkan bersama – sama untuk membentuk instalasi PV *array* dan pada umumnya semakin besar luas seluruh permukaan PV *array*, akan menghasilkan daya listrik yang lebih besar. Kebanyakan produsen memproduksi panel surya berdasarkan test standard temperatur dan kondisi (STC) dengan irradiasi 1^0C kW/$m^{2,}$ temperatur 25ºC dengan tegangan terbuka (Voc) dan tegangan maksimum (Vpm). PV *array* dengan modul kristalin secara ratarata, tegangan akan turun sebesar 0.5% setiap terjadi kenaikan suhu 1^0C diatas 25ºC.

Untuk pembangkit listrik tenaga surya yang berkapasitas 100 kWp berarti pembangkit tersebut terdiri dari beberapa panel surya membentuk PV *Array*. daya maksimum 100 kW ini didasarkan pada kondisi STC, saat irradiasi 1000 W/m^2 dengan temperatur 25ºC, dari grafik kita bisa tau bahwa daya 100 kW tersebut hanya terjadi di sekitar jam 11 – 13, sedangkan di luar waktu tersebut daya yang dihasilkan akan lebih rendah.

Pada jam 8 pagi kemungkinan daya listrik yang dihasilkan hanya 30 kW, siang hari daya listrik dengan matahari bersinar penuh bisa dihasilkan sekitar 100 kW. Bagaimana saat iradiasinya di atas 1000 W/m^2 tentu saja dayanya akan bisa lebih dari 100 kW, tetapi biasanya apabila dipasang diluar dengan normal operasi temperatur standar (NOCT) irradiasi rata – rata ditemui antara 600 sampai dengan 900 Watt/m^2 untuk mendapatkan nilai irradiasi yang optimum.

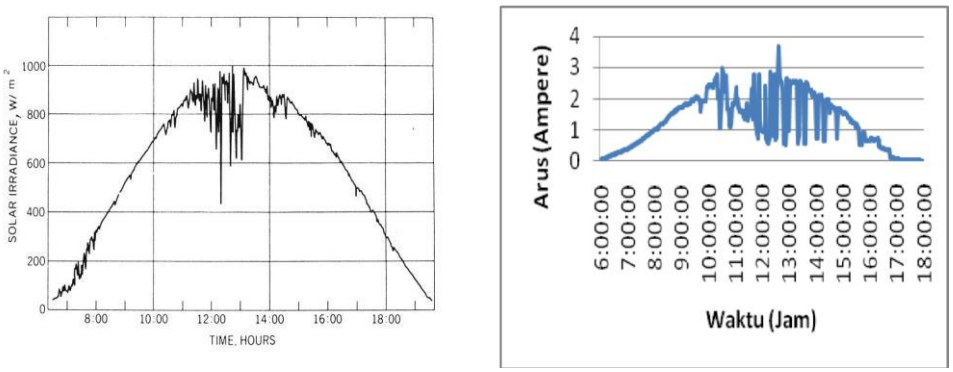
Apabila posisi kedudukan dilintang selatan, maka surya *Array* (PV *Array*) harus dihadapkan (dimiringkan) menghadap ke arah utara dan sebaliknya (lintang utara menghadap ke selatan). Kemiringan solar modul disesuaikan dengan lokasi pemasangan, semakin dekat dengan khatulistiwa, semakin kecil sudut kemiringannya, semakin jauh semakin besar pula kemiringannya antara 10º sampai 15º. Pada gambar 9 mengenai kurva grafik daya solar modul terhadap irradiasi dan temperatur. Photovoltaic (PV) adalah sektor teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi panel surya untuk energi dengan mengubah sinar matahari menjadi listrik. Karena permintaan yang terus meningkat terhadap sumber energi bersih, pembuatan panel surya dan kumpulan fotovoltaik telah meluas secara dramatis dalam beberapa tahun belakangan ini.



Gambar 9. Kurva Grafik Daya Solar Modul Terhadap Irradiasi dan Temperatur

Umumnya, dalam kondisi cerah dan panas (daerah khatulistiwa), temperature *photovoltaic* bisa mencapai 40-50 ºC dan bukan hal yang mustahil temperaturnya bisa lebih tinggi dari itu. Akibatnya losses

(penurunan daya) akibat temperatur ini bisa mencapai 512%. Pada gambar 9.1. mengenai Grafik Waktu, Arus (Ampere) dan Irradiasi Matahari (Watt/m^2).

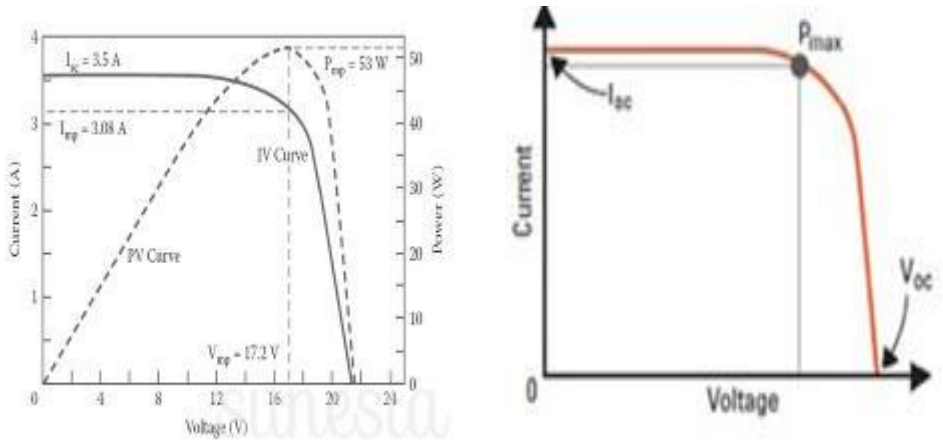


Gambar 9.1. Grafik Waktu, Arus dan Irradiasi Matahari

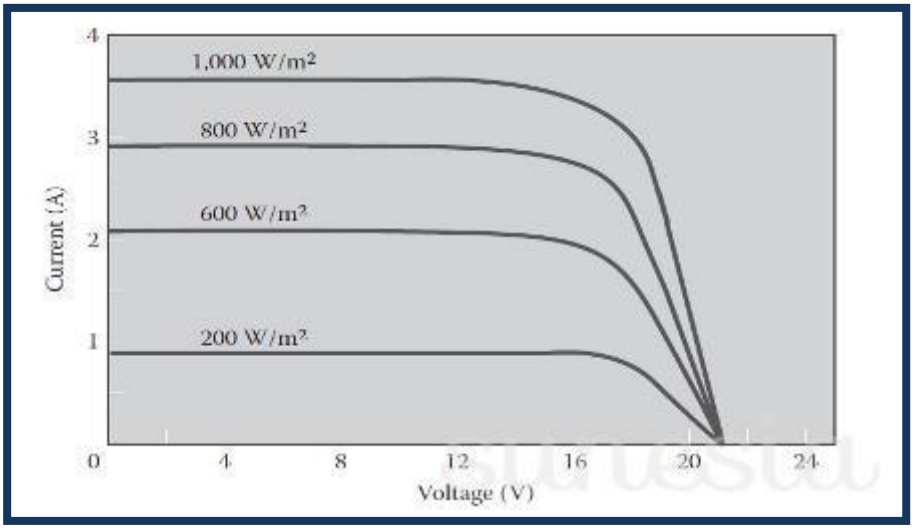
B.5.4. Kurva Arus Dan Tegangan

Seperti yang sudah dibahas diatas sel surya atau sel *photovoltaic* merupakan suatu alat yang dapat mangubah energi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik. Pada dasarnya sel tersebut berjenis diode yang tersusun atas P – N *junction*. Sel surya *photovoltaic* yang dibuat dari bahan semi konduktor yang diproses sedemikian rupa, yang dapat menghasilkan listrik arus searah. Dalam penggunaannya, sel-sel surya itu dihubungkan satu sama lain, sejajar atau seri, tergantung dari penggunaannya, guna menghasilkan daya dengan kombinasi tegangan dan arus yang dikehendaki.
Kurva ini merupakan *plotting* arus dan tegangan, dari arus hubungan singkat (Isc) sampai tegangan sirkuit terbuka (Voc). Performa modul surya dapat dihitung dengan mengalikan arus dan tegangan pada titik-titik di kurva tersebut. Kurva I – V dihasilkan dari percobaan solar cell atau modul surya yang dikenai paparan iradiasi. Kurva I – V melewati 2 (dua) titik utama, yaitu arus hubungan singkat (Isc) dan tegangan sirkuit terbuka (Voc). Arus hubungan singkat adalah arus yang dihasilkan ketika terminal positif dan negatif dihubungkan secara langsung. Nilai nol pada hambatan membuat nilai tegangan juga bernilai nol. Sebaliknya tegangan sirkuit terbuka terjadi ketika terminal positif dan negatif berada dalam kondisi terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir.

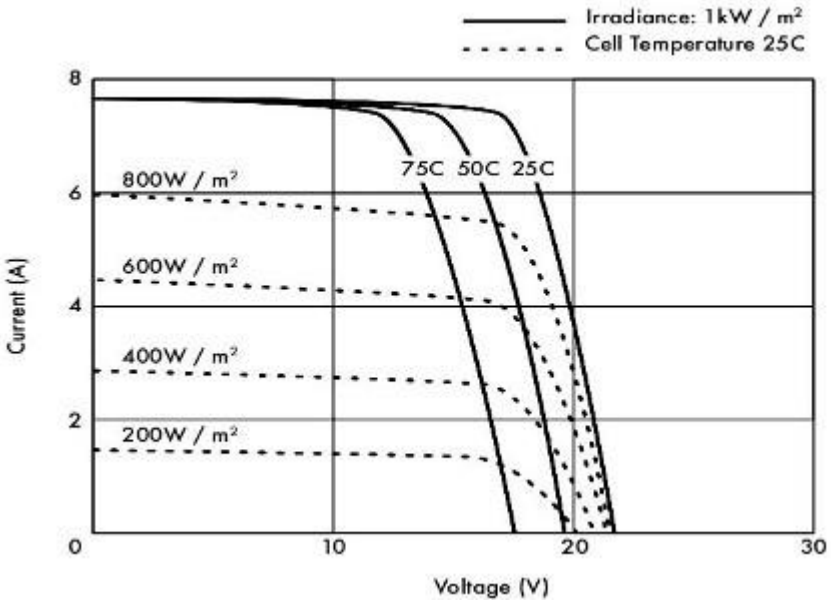
Daya puncak dapat dilhat pada titik paling jauh dari pusat diagram.
Kinerja modul surya yang direpresentasikan oleh kurva karakteristik IV (*IV characteristic curve*), yang merepresentasikan arus yang disediakan berdasarkan tegangan yang ditimbulkan oleh tingkat irradiasi surya tertentu. Kurva I – V merepresentasikan semua nilai tegangan dan arus. Kurva bergantung pada dua faktor utama suhu dan irradiasi surya yang diterima oleh sel surya. Untuk sebuah area sel surya, arus yang dihasilkan secara langsung sebanding dengan penyinaran surya, sedangkan tegangan berkurang dengan kenaikan suhu. Sebuah pengatur yang baik akan berusaha memaksimalkan jumlah daya yang disediakan oleh panel dengan mengikuti titik penyediaan daya maksimum (V x I). Seperti ditunjukkan pada gambar 10. mengenai kurva arus dan tegangan, gambar 10.1. mengenai intensitas irradiasi vs arus dan tegangan modul surya, gambar 10.2. mengenai Pengaruh Temperatur, Iradiasi Terhadap Arus dan Tegangan.



Gambar 10. Kurva Arus dan Tegangan

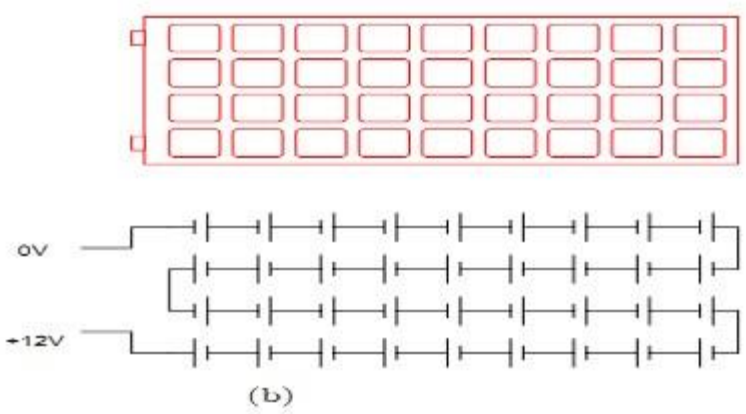


Gambar 10.1. Intensitas Irradiasi vs Arus dan Tegangan Modul Surya



Gambar 10.2. Pengaruh Temperatur, Irradiasi Terhadap Arus dan Tegangan

Sebuah panel surya disusun dari beberapa sel surya. Sel tersambung secara elektrik untuk memberikan arus dan tegangan tertentu. Masing-masing sel surya di enkapsulasi untuk mengisolasi dan melindungi dari kelembaban dan korosi. Ada beda tipe modul yang tersedia di pasaran, tergantung pada jenis modul surya dan kebutuhan daya aplikasi. Modul yang paling umum digunakan terbuat dari 32 atau 36 sel surya silikon kristalin *(crystalline silicon)*. Sel – sel surya yang berukuran sama, tersambung secara seri, dan terbungkus diantara bahan kaca dan plastik, menggunakan *polymer resin* sebagai insulator termal *(thermal insulator).* Panel surya biasanya memiliki dua kontak listrik satu positif satu negatif dilengkapi dioda atau *bypass* dioda pada *junction box* antara masing-masing panel surya. *Bypass* dioda ini melindungi panel dari gejala yang dikenal sebagai *"hot-spots"*. Sebuah *hotspot* terjadi ketika beberapa sel surya berada dalam bayangan *(shading)* sedangkan sisa panel suryanya berada di bawah sinar matahari penuh. Konstruksi daya yang dihasilkan pada modul surya akan terjadi pengurangan atau nol akibat sel surya terteduh tertimpa bayangan dan bertingkah laku sebagai beban dapat membuang daya. Dalam situasi ini, sel surya yang terteduh mengakibatkan dapat mengalami peningkatan suhu yang luar biasa (sekitar 85 sampai 100 derajat Celsius.). Dioda penyingkat akan mencegah hot spot di sel yang terteduh, sebaliknya akan mengurangi tegangan maksimum panel surya tersebut. Sebuah solar modul biasanya berisi 28 – 36 sel secara seri, untuk menghasilkan tegangan *output* DC dari 12 Volt dalam kondisi standar intensitas iradiasi pencahayaan seperti ditunjukkan pada gambar 10.3. mengenai hubungan seri pada solar Sel modul membentuk modul surya.



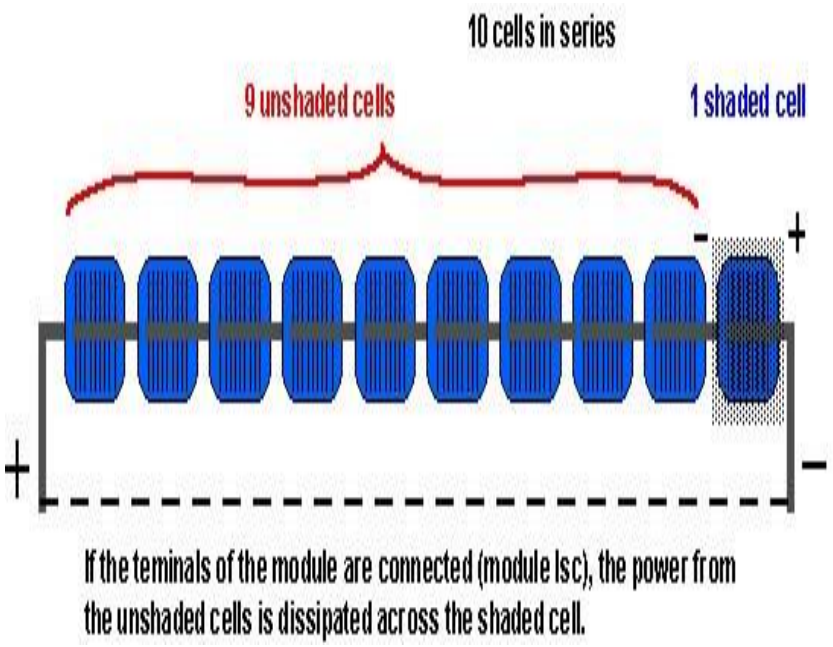
Gambar 10.3. Hubungan Seri Pada Solar Sel Modul

B.5.5. Bayangan *(Shading)*

Shading merupakan masalah di modul surya. Semenjak ada shading hanyalah di satu sel surya saja pada modul surya ini dapat mengurangi daya mengakibatkan keluaran di solar modul ke nilai titik nol. *Output* dari sel surya menurun ketika dinaungi oleh cabang pohon, bangunan atau debu pada modul surya. *Output* daya keluaran modul surya menurun secara proporsional dengan jumlah shading yang mengenai modul surya tersebut. Untuk modul surya benar – benar buram seperti daun yang menutupi permukaan modul surya akan mengakibatkan penurunan arus keluaran sel surya dari modul surya tersebut dan sebanding dengan jumlah sel surya yang tertutup.

B.5.6.Titik Panas *(Hotspot Heating)* Akibat Bayangan *(Shading)*

Titik pemanasan (*hotspot*) terjadi ketika salah satu sel suryanya terkena bayangan (*shading*) sehingga mengakibatkan arus sel surya tidak mengalir didalam rangkaian ini yang terhubung seri. Akibatnya beberapa sel surya terjadi arus *short-circuit* yang tinggi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 11. mengenai satu sel *shading* dalam sebuah string. Pada sel surya yang dinaungi bayangan akan menjadi panas dan dapat terbakar.



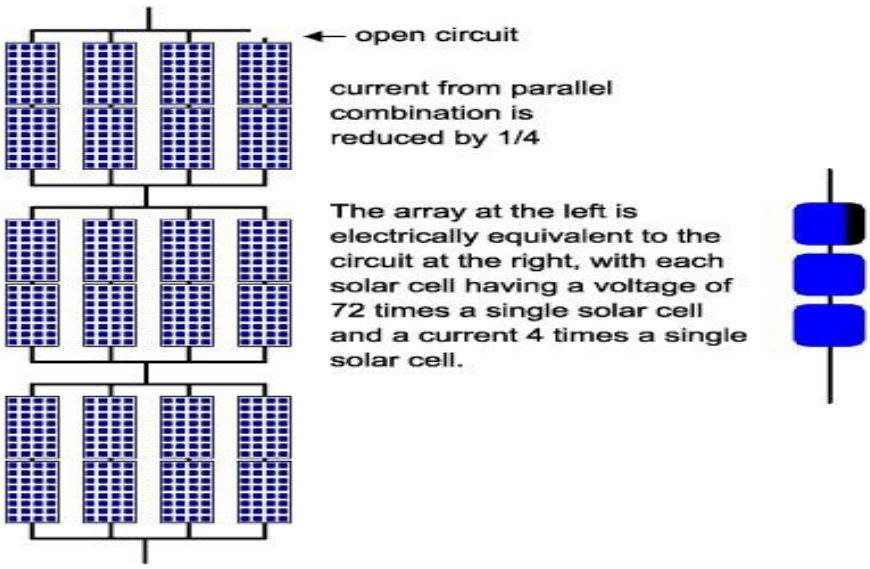
Gambar 11. Satu Sel Shading Dalam Sebuah String

Pengaruh bayangan dalam sebuah sel mengakibatkan penurunan panas arus foton. Efek bayangan tidak hanya diakibatkan oleh bayangan pada modul surya, rumah pembangkit, tiang penyangga, daun – daun, debu, kotoran hewan, awan atau pohon tetapi juga berasal dari sel yang rusak atau buruk. Ketika arus foton pada sel yang rusak atau terkena bayangan menurun, maka arus yang mengalir pada keseluruhan rangkaian seri akan tertahan pada sel surya tersebut. Mengakibatkan pada sel surya yang terkena *shading* menimbulkan arus yang paling rendah dari sel – sel surya yang tidak terkena *shading*. Energi panas yang biasa disebut dengan "*hot- spot*". Jika semakin banyak sel surya tidak terkena bayangan dengan sel surya yang terkena bayangan menimbulkan energi panas pada sel surya yang terkena panas disipasi daya yang sangat besar terjadi dalam hasil area kecil dititik *"hot - spot"*, yang pada gilirannya menyebabkan efek yang merusak, seperti sel atau retak kaca, mencairnya solder atau degradasi sel surya. Untuk memitigasi kerusakan ini digunakan *dioda bypass*. *Dioda bypass* digunakan untuk *bypass* arus balik.

B.5.7. Efek Shading Dalam *Photovoltaic* (PV) *Array*

Dalam PV *array* yang lebih besar, modul PV tersebut terhubung di kedua seri dan paralel. Satu set terhubung seri sel surya atau modul yang disebut "string". Kombinasi seri dan koneksi paralel dapat menyebabkan beberapa masalah dalam PV *array*. Salah satu masalah yang potensial muncul dari sirkuit terbuka di salah satu string seri. Arus dari paralel terhubung string (sering disebut "blok") maka akan memiliki arus yang lebih rendah daripada blok yang tersisa dalam modul. Ini adalah identik satu sel surya yang terhubung seri dengan beberapa sel surya yang baik atau tidak terkena shading. Tegangan dan arus yang menghasilkan daya dari seluruh blok sel surya yang terhubung seri atau modul surya yang terhubung seri akan hilang.

Pada gambar 12. menunjukkan efek *shading* pada susunan *photovoltaic array* di titik panas (*hot – spots*). Shading dari satu sel dari modul 36-cell, seperti modul surya KC120, akan mengurangi daya *output*nya, dikarenakan semua sel terhubung dalam hubungan seri pada modul surya tersebut. Sel surya yang terkena bayangan akan terlemah intesitas irradiasi matahari akibat shading dan membawa modul surya KC120 ke level berkurang dayanya dalam satuan *wattpeak.* Oleh karena itu, apakah satu sel shading, atau 1/2 deretan sel shading seperti yang ditunjukkan di atas, penurunan daya dalam hal ini 50%.



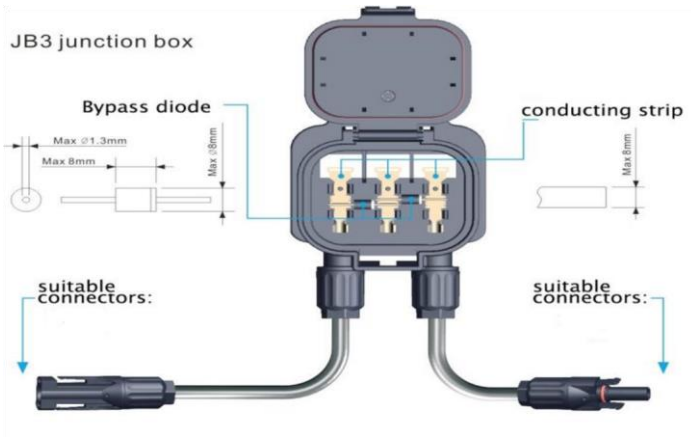
Gambar 12. Efek Bayangan Pada PV *Array*

Menimbulkan Titik Panas

Hubungan paralel di dalam kombinasi dengan efek ketidaksesuaian (*mismatch*) juga dapat menyebabkan masalah jika nilai arus dioda bypass tidak dihitung untuk menangani arus seluruh *photovoltaic array* terhubung paralel. Misalnya, modul surya terhubung dalam satu string rangkaian seri dari beberapa modul surya dan juga beberapa string terhubung dengan parallel. *Dioda bypass* yang terpasang di modul surya terhubung seri dengan paralel, seperti yang ditunjukkan pada gambar 20. Dioda bypass sebagai proteksi titik panas (*hot spot*), dioda bypass juga dapat mengoptimalkan produksi energi, karena modul surya yang tidak terkena bayangan tetap dapat berproduksi secara optimal ketika mengalami bayangan maka ketidaksesuaian penilaian *dioda bypass* dengan modul surya terhubung seri akan menyebabkan arus mengalir di dioda bypas dan mengakibatkan pemanasan dioda bypass ini. Namun, pemanasan dioda bypas mengurangi hambatan efektif pada modul surya. Akhirnya hampir semua arus dapat mengalir melalui satu set *dioda bypass*. Jika *dioda bypass* tidak dinilai besarannya untuk menangani arus dari kombinasi hubungan paralel modul surya, *dioda bypass* akan terbakar dan kememungkinan kerusakan pada *photovoltaic* modul surya terjadi.

B.5.8. *Photovoltaic* Junction box

Kotak sambungan (*junction box*) dipasang oleh produsen modul surya yang ditempatkan dibagian belakang setiap modul surya dan berfungsi sebagai penghubung kabel, baik kabel *input* maupun kabel *output Direct Current* (DC). Modul surya *junction box* berisi dioda bypass untuk melindungi panel photovolthaic dari arus balik *(reverse current)* selama pada malam hari. Kotak sambungan listrik merupakan wadah untuk sambungan listrik, biasanya ditujukan untuk menutupi mereka dari pandangan dan mencegah gangguan. Sebuah selungkup dibumikan di mana kawat atau kabel dapat dihubungkan dengan aman seperti pada gambar 13 mengenai *Junction box* . String *junction box* dari PV *Array* adalah selungkup dimana semua modul surya pada suatu *string* terhubung di *junction box* dengan hubungan seri adalah upaya suatu *string* PV *array* untuk membangkitkan tegangan *output* yang besar Kabel string modul surya menghubungkan antara modul surya dengan modul surya diletakkan pada *juntion box* untuk membentuk string.



Gambar 13. *Junction box*

C. Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen utama dalam sistem PLTS yang memegang peranan penting sebagai sumber listrik, yang apabila lemah/soak sering kali menjadi penyebab terganggunya sistem PLTS, bahkan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen-komponen lainnya, baik dalam aplikasi *(Solar Home System)* SHS maupun dalam aplikasi Lampu Jalan Tenaga Surya. Mengapa baterai *Valve-Regulated Lead-Acid Battery* (VLRA) dapat direkomendasikan sebagai baterai tipe VLRA dalam sistem PLTS, selain bebas perawatan *(maintenance free)*, karena baterai tipe ini memiliki katup untuk pertukaran gas sehingga suhu didalam baterai akan tetap terjaga dan umur *(lifetime)* baterai akan maksimal.
Meskipun harga Batterai VLRA lebih mahal dari aki basah *(Battery Asam Timbal)* tetapi umur pakai baterai lebih lama hingga 1 (satu) tahun lebih, dengan sistem pengisian dan beban yang sesuai dengan kapasitas baterai.

C.1. Fungsi Baterai

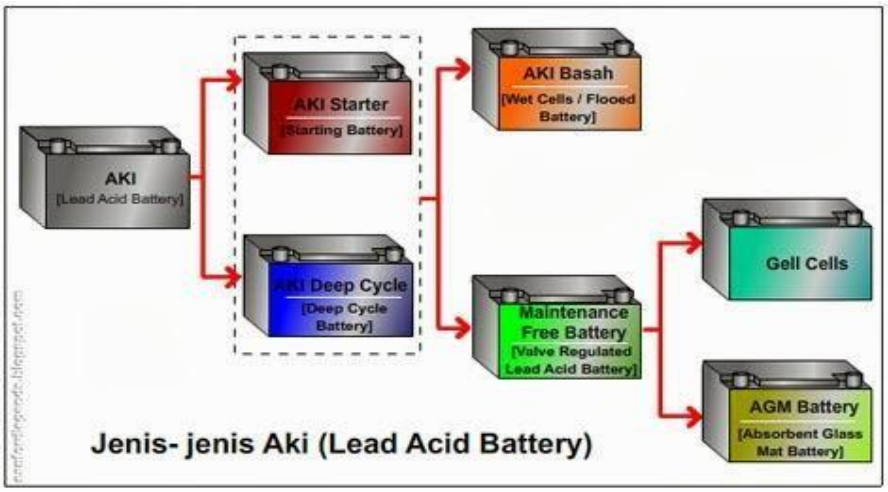
Baterai menyimpan energi listrik yang dihasilkan modul surya pada saat matahari bersinar, dan baterai akan mengeluarkan kembali energi listrik pada saat modul surya tidak dapat lagi menghasilkan energi listrik. Pada kondisi normal baterai dipergunakan saat malam hari atau saat cuaca berawan atau mendung. Apabila terjadi daya energi beban di konsumen yang berlebih diwaktu siang hari, baterai dapat difungsikan untuk menambah beban yang dihasilkan oleh modul surya. Sifat baterai adalah menyimpan dan mengeluarkan energi dari proses reaksi kimia. Proses penyimpanan dan pengeluaran daya energi dalam besaran satuan wattjam (*watthour*) listrik. Pengeluaran ini nantinya akan dipulihkan seperti semula disaat pengisian (*charging*) dari modul surya. Baterai terbentuk oleh sekelompok elemen atau sel yang diletakan secara seri. Baterai timbal-asam terdiri dari dua elektroda timbal yang berada dalam larutan elektrolit air dan asam sulfat. Baterai yang paling umum dalam aplikasi surya fotovoltaik mempunyai tegangan nominal sebanyak 2 Volt, 12 Volt dan 24 Volt. Untuk sebuah baterai dengan tegangan 12 Volt akan berisi 6 sel secara seri. Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem fotovoltaik meliputi :

1. Untuk memberikan daya energi (Wattjam) kepada sistem pembangkit listrik tenaga surya ketika daya energi tidak disediakan oleh PV *array* panel – panel surya;
2. Untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel surya setiap kali daya itu melebihi beban.

Baterai tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan daya energi, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu matahari ada, modul surya menghasilkan arus listrik dalam satuan Ampere jam dengan segera dipergunakan untuk pengisian baterai. Apabila tidak adanya matahari pada malam hari khususnya permintaan akan daya energi watthour dari kapasitas baterai *Amperhours* dengan tegangan nominal baterai 2 Volt atau 12 Volt. Siklus penyimpanan Amperjam akan terjadi setiap kali sesuai intensitas irradiasi matahari dan mengeluarkan Amperjam terjadi setiap kali sesuai dengan penggunaan daya listrik untuk melayani beban konsumen, jika ada sinar matahari dengan

irradiasi yang cukup, baterai akan menyimpan Amperjam (Ah) yang cukup dan pelayanan bebannya akan menjadi ringan. Oleh karena itu fungsi baterai pada malam hari akan mengeluarkan jumlah total daya wattjam yang diperlukan dari *Amperehours* dikalikan dengan total tegangan baterai yang 48 Volt. Jika baterai tidak menyimpan cukup *Amperehours* dan tegangan daya energi, maka tidak bisa memenuhi permintaan untuk melayani beban pada pengguna. Apabila tidak adanya matahari, sistem akan kehabisan Amperejam dan tegangan menurun ketitik terendah dan tidak siap memenuhi kebutuhan penggunaan energi

Wattjam. Jika baterai tidak menyimpan cukup daya untuk memenuhi permintaan selama periode tidak adanya matahari, sistem akan kehabisan daya dan tidak siap memenuhi konsumsi. Salah satu cara dengan melakukan perkiraan jumlah hari dimana sistem beroperasi secara mandiri atau *number of days of autonomy* 3 sampai dengan 4 hari untuk menjamin pengaturan pengisian baterai (*charging*) dan pengeluaran (*discharging*) baterai yang baik. Untuk *State of Charge (SOC)* baterai diukur berdasarkan pada tegangan sebenarnya dari baterai. Dengan mengukur tegangan baterai dan diprogram dengan tipe teknologi penyimpanan yang digunakan oleh baterai, pengatur bisa mengetahui titik tepat di mana baterai akan mengalami pengisian (*charge*) sesuai dengan sinar matahari bersinar penuh atau pengeluaran (*discharge*) yang berlebihan sesuai kebutuhan melayani beban listrik. Menurut bentuk struktur baterai dikelompokkan yang terdiri dari baterai *stater* dan baterai *deep cycle* seperti ditunjukkan pada gambar 14. mengenai Jenis-jenis Baterai.



Gambar 14. Jenis – Jenis Baterai

Pada baterai *lead acid* salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal *(lead acid)* sebagai bahan kimianya.

C.2. Baterai/Aki Stater

Baterai stater adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalik) dengan efisiensinya yang tinggi, yang dimaksud dengan proses elektrokimia *reversible* adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda – elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewatkan arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel. Kontruksi baterai stater didalam wadahnya terdapat elektrolit asam sulfat, elektroda positif dan negatif dalam bentuk plat. Plat – plat tersebut dibuat dari timah atau berasal dari timah. Karena itu baterai tipe ini sering disebut baterai timah, Ruangan didalamnya dibagi menjadi beberapa sel (biasanya 6 sel, untuk baterai mobil) dan didalam masing masing sel terdapat beberapa elemen yang terendam didalam elektrolit.

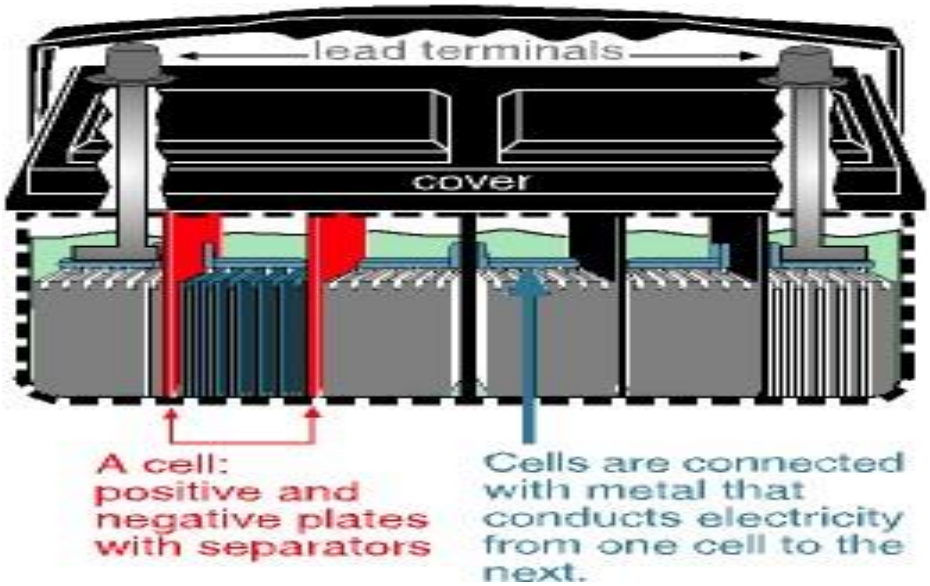
Jumlah tenaga listrik yang disimpan dalam baterai dapat digunakan sebagai sumber tenaga listrik tergantung pada kapasitas baterai dalam satuan *Amperhours (Ah).* Jika pada kotak baterai tertulis 12 Volt 60 Ah, berarti baterai baterai tersebut mempunyai tegangan 12 Volt dimana jika baterai tersebut

digunakan selama 1 jam dengan arus pemakaian 60 Ampere, maka kapasitas baterai tersebut setelah 1 jam akan kosong (habis). Kapasitas baterai tersebut juga dapat menjadi kosong setelah 2 jam jika arus pemakaian hanya 30 Ampere. Disini terlihat bahwa lamanya pengosongan baterai ditentukan oleh besarnya pemakaian arus listrik dari baterai tersebut. Semakin besar arus yang digunakan, maka akan semakin cepat terjadi pengosongan baterai, dan sebaliknya, semakin kecil arus yang digunakan, maka akan semakin lama pula baterai mengalami pengosongan. Besarnya kapasitas baterai sangat ditentukan oleh luas permukaan plat atau banyaknya plat baterai. Jadi dengan bertambahnya luas plat atau dengan bertambahnya jumlah plat baterai maka kapasitas baterai juga akan bertambah. Sedangkan tegangan accu ditentukan oleh jumlah daripada sel baterai, dimana satu sel baterai biasanya dapat menghasilkan tegangan kira kira 2 sampai 2,1 Volt. Tegangan listrik yang terbentuk sama dengan jumlah tegangan listrik tiap – tiap sel. Jika baterai mempunyai enam sel, maka tegangan baterai standar tersebut adalah 12 Volt sampai 12,6 Volt. Biasanya setiap sel baterai ditandai dengan adanya satu lubang pada kotak *accu* bagian atas untuk mengisi elektrolit aki. Setiap sel terdiri dari beberapa plat positif dan plat negatif. Kedua plat tersebut dipisahkan oleh separator agar tidak terjadi hubungan langsung (hubungan singkat).
Dalam setiap sel baterai jumlah plat negatif lebih satu jika dibandingkan dengan plat positif. Kotak baterai adalah wadah yang menampung elektrolit dan elemen baterai. Ruangan didalamnya dibagi menjadi ruangan sesuai dengan jumlah selnya. Pada kotak baterai terdapat garis tanda *upper level* dan *lower level*, sebagai indikator jumlah elektrolit. Seperti ditunjukkan pada gambar 15 mengenai konstruksi baterai stater.

Gambar 15. Konstruksi Baterai Stater

C.3. Baterai *Deep Cycle*

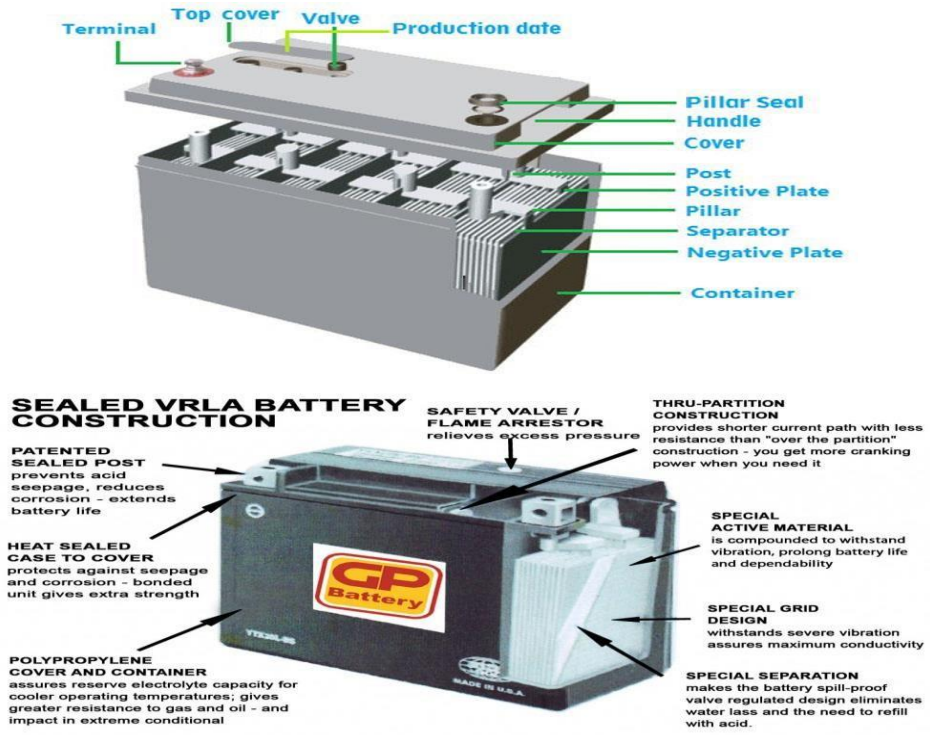
Baterai *deep cycle* dirancang untuk menghasilkan energi arus listrik yang stabil tidak sebesar *starting battery* namun dalam waktu yang lama. Baterai jenis ini tahan terhadap siklus pengisian – pengosongan baterai yang berulang – ulang. *Deep cycle* karena konstruksinya menggunakan pelat yang lebih tebal dan memungkinkan untuk melepaskan energi dalam selang waktu yang panjang. Baterai *deep cycle* tidak dapat melepaskan energi listrik secepat dan sebesar baterai starter. Semakin tebal pelat baterai semakin panjang usia baterai yang dapat diharapkan. Jenis ini juga banyak digunakan pada proyek energi alternatif untuk menyimpan arus listrik seperti pada pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin. Jenis baterai *deep cycle* terdiri dari baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid Battery*), Gel Cells Baterai dan *Absorbent Glass Mat Battery* (AGM Baterai). Seperti ditunjukkan pada gambar 16 mengenai konstruksi baterai *deep cycle.*



Gambar 16. Struktur Konstruksi Baterai *Deep Cycle*

C.4. Baterai VRLA

Kotak baterai box yang tertutup rapat dan dilengkapi dengan sebuah valve/katub, yang akan terbuka jika tekanan gas hasil elektrolisa air melebihi suatu harga tekanan tertentu, untuk melepaskan gas keluar kontainer. Kontainer jenis ini lebih dikenal dengan *VRLA* (*Valve Regulated Lead Acid).* Kontainer baterai VRLA tidak mempunyai penutup sel, dan bekerja pada tekanan konstan 1 sampai dengan 4 psi. Tekanan ini membantu mengembalikan 99% *hydrogen* dan oksigen yang terbentuk pada proses *charging*/pengisian untuk kembali menjadi air. Jadi pada baterai VRLA tidak memungkinkan untuk dilakukan penambahan air. Jenis VRLA yang paling umum adalah *Gel VRLA* dan *AGM VRLA.* Seperti ditunjukkan pada gambar 17. mengenai konstruksi baterai *deep cycle.*

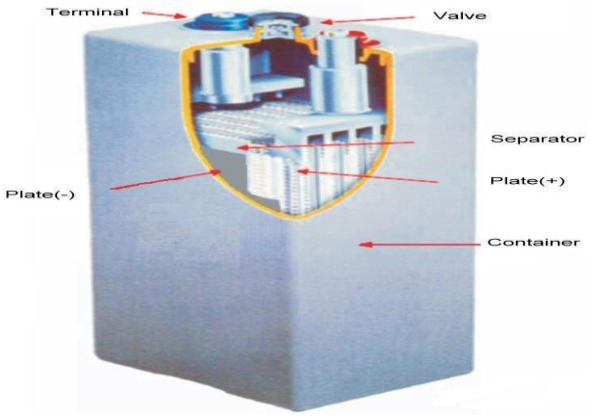


Gambar 17. Konstruksi Baterai VRLA

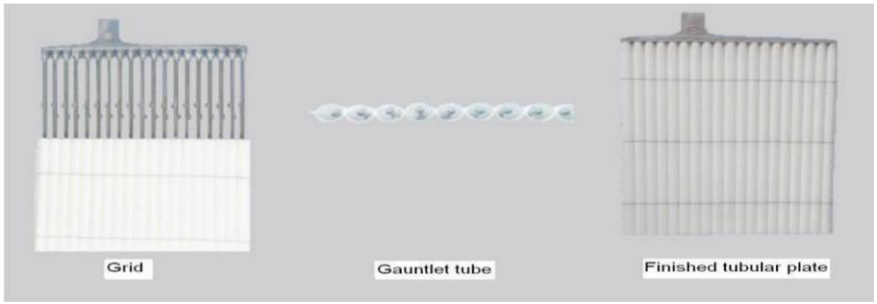
C.5. Baterai *Gel VRLA*

Baterai Gel VRLA adalah baterai VRLA dengan elektrolit *gelified*; asam sulfat dicampur dengan silika diasapi, yang membuat massa yang dihasilkan menyerupai gel dan bisa bergerak. Berbeda dengan *flooded* baterai sel basah timbal asam, baterai ini tidak perlu disimpan tetap tegak. Baterai gel mengurangi penguapan elektrolit, tidak tumpah (dan masalah korosi berikutnya) bersamaan untuk baterai *wet sel*, dengan resistensi yang lebih besar untuk *shock* dan vibrasi. Kimia baterai gel VRLA basah baterai *(non-sealed)* sama kecuali bahwa antimon dalam piring timbal digantikan oleh kalsium, dan rekombinasi gas dapat berlangsung. Baterai OPzV adalah konstruksi sel tunggal dengan tegangan nominal adalah 2 Volt. Misalkan kita mengambil OPzV2 – 200 "berarti *sealed baterai Gel OpzV* tersebut mempunyai tegangan 2 Volt dan 200 Ah. Baterai Gel OpzV memiliki struktur antara lain :

1. Plat Positif : Baterai mengadopsi piring positif tubular. *Grid* positif yang dibuat oleh *die-casting* teknik dengan tekanan 18 MPa dan struktur silinder lebih kompak dan memberikan kebaikan korosi resistensi dengan ekstrim tinggi siklus harapan usia baterai dan umur baterai desain lebih lama dari 20 Tahun;
2. Elektrolit : GEL terdiri SiO2, yang merupakan sel cair ketika disuntikkan dan sampai penuh ke dalam baterai dan akhirnya elektrolit menjadi tidak mengalir, tidak ada kebocoran, stratifikasi, dan keamanan yang lebih tinggi. *Desain flooded* elektrolit berisi lebih banyak elektrolit dari baterai AGM; ruang antara piring dan pemisah penuh elektrolit sehingga bisa disipasi panas yang baik, tahan terhadap pengisian berlebihan *(overcharge)*, stabil terhadap suhu tinggi dan menghindari "pelepasan panas yang berlebihan".
3. Kontainer baterai terbuat dari kekuatan tinggi. Dengan kualitas kontainer dan tutup disegel bersama-sama dengan perekat untuk memastikan kinerja penyegelan handal dalam pelayanan;
4. Keselamatan *valve* katup pengaman sensitivitas tinggi memiliki kinerja yang stabil di *flip-top* ventilasi busi pers; bekerja sama dengan arester api itu membuat baterai lebih aman dan telah rekombinasi tinggi *efficiency electrolyte* baterai ruang interior dapat memobilized dalam struktur GEL, sehingga lebih dari 25% kinerja baterai. Seperti ditunjukkan pada gambar 18. dan gambar 19. mengenai *Tubular Deep Cycle Gel* Baterai OPzV 2 Volt dan *Plate Tubular Baterai Gel OpzV 2 Volt.*



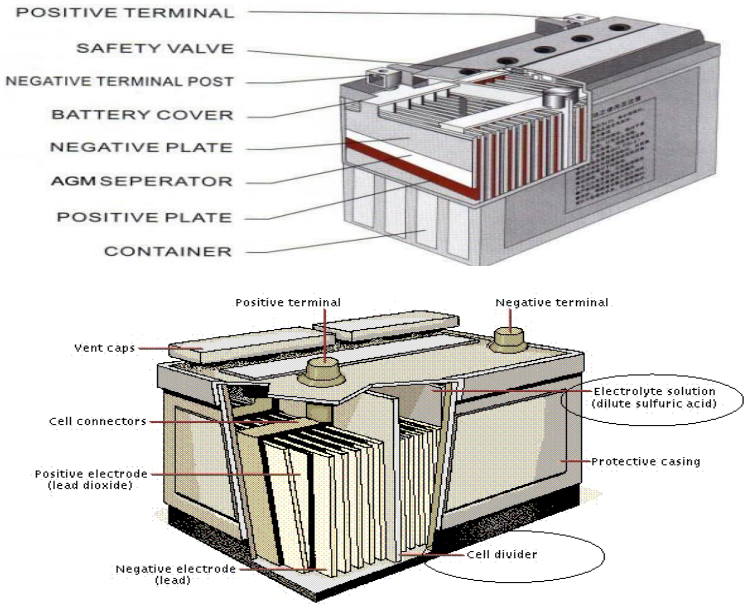
Gambar 18. *Tubular Deep Cycle Gel* Baterai OPzV 2 Volt



Gambar 19. *Plate Tubular Gel* Baterai OPzV 2 Volt

C.6. Baterai AGM VRLA

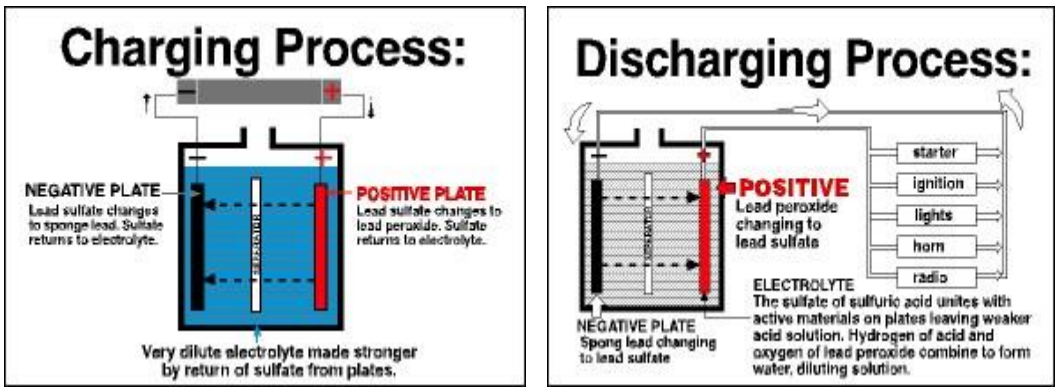
Baterai AGM berbeda dari *flooded* baterai asam timbal dalam elektrolit diadakan di alas kaca, dibandingkan dengan bebas membanjir piring. Sangat fiber kaca tipis yang ditenun menjadi matras untuk meningkatkan luas permukaan yang cukup untuk menahan elektrolit yang cukup pada sel – sel untuk seumur mereka *(lifetime)*. Fiber yang membentuk matras kaca baik tidak baterai menyerap yang juga tidak terpengaruh oleh elektrolit asam. Alas ini diperas 2 – 5% setelah direndam dalam asam, sebelum penyelesaian memproduksi dan penyegelan. Dalam pelat AGM baterai mungkin apapun bentuknya. Beberapa yang datar, yang lain bengkok atau digulung. Baterai AGM, baik dalam siklus dan awal, yang dibangun dalam case persegi panjang dengan spesifikasi kode baterai BCI. Seperti ditunjukkan pada gambar 20. mengenai Konstruksi baterai AGM VRLA.



Gambar 20. Konstruksi Baterai AGM VRLA

C.7. Kondisi Penyimpanan dan Pengeluaran Baterai

Ada dua kondisi kerja pada baterai yaitu penyimpanan energi dan pengeluaran energi yang dapat terjadi selama siklus penyimpanan dan pengeluaran daya dari baterai. Penyimpanan yang berlebihan terjadi pada saat baterai berada pada kondisi penuh dan keterbatasan kapasitas Amperjam baterai. Sedangkan pada pengeluaran berlebihan melebihi batas yang ditentukan oleh pabrikan, maka akan menimbulkan pengrusakan pada baterai dan mengurangi masa hidup (*Life Time*) baterai. Tegangan baterai akan turun dibawah batas minimum 1,85 Volt. Seperti ditunjukkan pada gambar 21. mengenai proses pengisian baterai dan proses pengeluaran baterai.



Gambar 21. Proses Pengisian Baterai dan Proses Pengeluaran Baterai

C.8. Mengukur Kondisi Penyimpanan Daya Energi Baterai

Baterai timbal asam 12 Volt yang disekat menyediakan tegangan yang berbeda tergantung pada kondisi penyimpanan dayanya. Ketika baterai penuh dengan daya dalam sebuah sirkuit terbuka, tegangan *output* adalah sekitar 12,8 Volt, tegangan *output* turun dengan cepat sampai 12,6 Volt ketika terdapat beban. Pada saat baterai menyediakan arus yang konstan selama operasi, tegangan baterai berkurang secara linear dari 12,7 Volt ke 11,6 Volt tergantung pada kondisi penyimpanan daya. Baterai timbalasam yang disekat memberikan 95% dari dayanya dalam tegangan ini. Jika kita membuat asumsi yang lebih luas bahwa baterai yang sepenuhnya terisi mempunyai tegangan 12,6 Volt pada saat "penuh" yang berarti *(Sort of Circuit)* SoCnya telah mencapai 100% dan mencapai 11,9 Volt pada saat "kosong", kita dapat memperkirakan bahwa baterai sudah mengeluarkan 70% ketika baterai mencapai tegangan 12,32 Volt. Untuk tegangan baterai 2 Volt, pada saat penuh yang berarti SoCnya telah mencapai 100% tegangan baterainya 2,12 Volt dan *(Drop of Discharge)* DoDnya mencapai 40%, tegangan baterainya 1,98 Volt. Seperti ditunjukkan pada tabel 1. mengenai karakteristik kondisi SoC dan DoD.

Tabel 1. Karakteristik Kondisi SoC dan DoD

Kondisi Baterai	**Tegangan Baterai 12 Volt**	**Tegangan Baterai per Cell**
100%	12,7	2,12
90%	12,5	2,08
80%	12,42	2,07
70%	12,32	2,05
60%	12,2	2,03
50%	12,06	2,01
40%	11,9	1,98
30%	11,75	1,96
20%	11,58	1,93
10%	11,31	1,89
0%	10,5	1,75

Mempertimbangkan bahwa baterai untuk sebaiknya tidak dikeluarkan dayanya lebih dari 20% sampai 30% kita dapat menentukan bahwa kapasitas berguna baterai truk 170 Ah adalah 34 Ah (20%) ke 51 Ah (30%). Dengan menggunakan tabel yang sama, kita menyadari bahwa kita sebaiknya memprogram pengatur untuk mencegah baterai dari mengeluarkan daya di bawah 12,3 Volt.

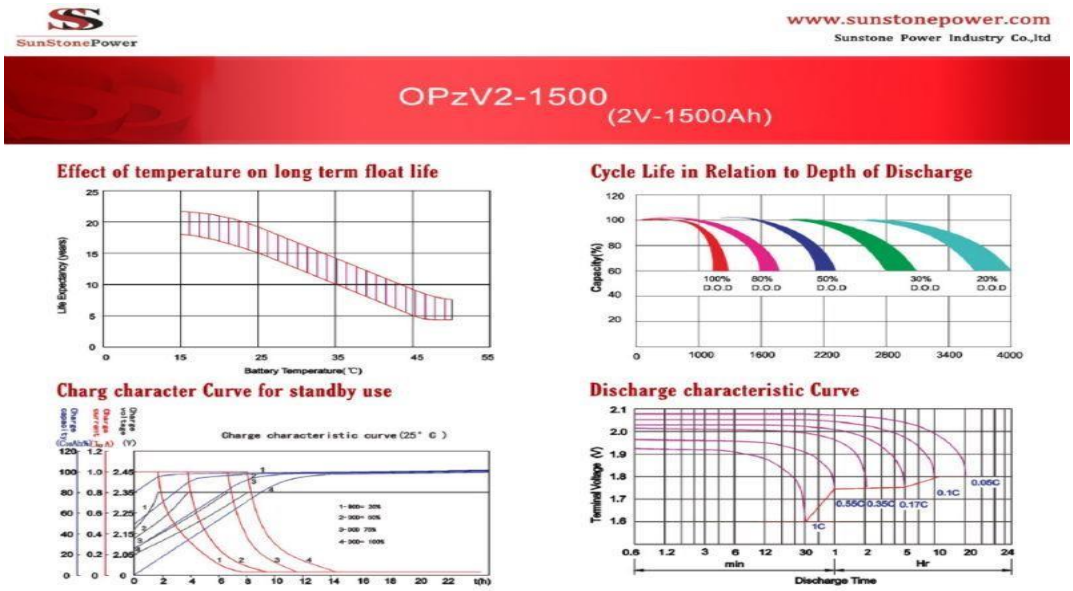
C.9. Spesifikasi Gel Baterai OPzV 2 Volt 1500 Ah Tubular

Spesifikasi Gel baterai OPzV 2V 1500 Ah dengan teknologi tabular dan plat yang tebal dengan keandalan yang tinggi. Baterai ini dirancang dan diproduksi sesuai standar DIN dan dengan *die-casting positif Grid* . Seri OPzV itu masa hidupnya lebih dari 20 tahun dengan temperatur baterainya 25ºC. Seperti ditunjukkan pada tabel 2. mengenai karakteristik kondisi SoC dan DoD.

Tabel 2. Spesifikasi Gel Baterai OpzV 2V,1500 Ah

Voltage Per Unit	2 V (Single cell)
Capacity	1500Ah @ 10 hr-rate to 1,80 Volt per Cell @ 25ºC
Weight	Approx 110 kG
Max Dis*charge* Current	4500 A (5 sec)
Internal Resistance	Approx 0,23 m Ω
Operating Temperatur Range	Dis*charge* : - 40ºC s/d 70ºC *Charge* : 0ºC s/d 50ºC Storage : - 20ºC s/d 60ºC
Optimal Operating Temperatur Range	25ºC ± 5ºC
Float Charging Voltage	2,25 to 2,3 VDC/unit Average at 25ºC
Maximum Charging Current Limit	300 A.
Cycle Service	2.37 s/d 2.40 VDC/unit Average at 25ºC

Pada gambar 22. dibawah ini menjelaskan tentang kurva Karakteristik Baterai Gel OpzV, 1500 Ah, 2 Volt.



Gambar 22. Kurva Karakteristik Baterai Gel OPzV, 1500 Ah, 2 Volt

C.10. OPzS Baterai Storage

Tipe baterai storage OPzS ini adalah pengisian *acur lead*, sebelum siap untuk diinstalasikan atau dipasang sesuai kebutuhan Wattjam *(Watthour)*. Jika sel tidak bisa diinstall dengan segera, kemudian menyimpan semua di ruang kering bersih segar. Selain itu, mengingat bahwa pada baterai sirkuit terbuka kehilangan bagian dari kapasitas mereka akibat *selfdischarge* (2 – 3% per bulan pada 20^0C/68^0F), dianjurkan mengisi ulang *float*. Jangan simpan baterai tanpa mengisi ulang lebih lama dari periode yang disebutkan dibawah ini *float* resapan terdiri dari menerapkan tegangan 2,27 (+ / -1%) V / Cell selama kurang lebih 48 jam. Seperti ditunjukkan pada gambar 23. mengenai baterai OPzS.

Gambar 23. Baterai OPzS

D. Solar Charge Controller

Charge Controller atau *Solar Charge Controller* (SCC) atau *Batery Charge Regulator* (BCR) atau *Baterai Charge Unit (BCU)*, adalah komponen dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Fungsi dari *Charge Controller* adalah sebagai berikut :

a) *Charging mode* untuk mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.
b) *Load/operation mode* untuk mengatur arus yang dilepaskan/diambil dari baterai agar baterai tidak *"full discharge* dan *overloading*, juga monitoring temperatur baterai (untuk model tertentu).

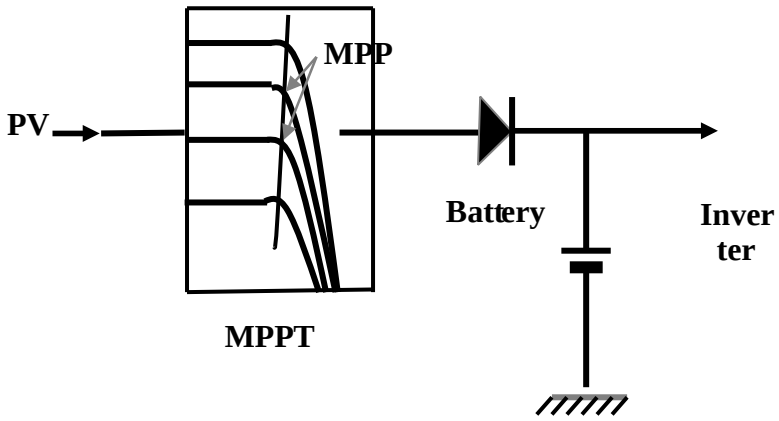
Solar Charge Controller biasanya terdiri dari 1 *input* (2 terminal) yang terhubung dengan *output* panel sel surya, 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan baterai/aki dan 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan beban (load). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada diode proteksi yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel sel surya ke baterai, bukan sebaliknya. Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka *Controller* akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah *over charge* dan dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *Controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban/peralatan listrik. Dalam kondisi Voltage tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan di baterai), maka pemutusan arus beban dilakukan oleh *Controller.* Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel – sel baterai.

Pada *Solar Charge Controller* tipe – tipe tertentu dilengkapi dengan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap, untuk memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada sistem PLTS dapat terdeteksi dengan baik. Pada *Solar Charge Controller jenis seri* menonaktifkan arus lebih lanjut ke baterai ketika penuh. Sedangkan tipe *Solar Charge Controller jenis shunt* mengalihkan kelebihan listrik ke beban "*shunt*, seperti pemanas air listrik, ketika baterai penuh. *Solar Charge Controller* teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *Maksimum Power Point Tracker* (MPPT) merupakan *Solar Charge Controller* yang lebih canggih, menyesuaikan tingkat pengisian baterai yang tergantung pada tingkat irradiasi matahari selama 4 (empat) sampai dengan 5 (lima) jam dan untuk memungkinkan pengisian lebih dekat dengan kapasitas maksimum. *Solar Charge Controller* juga dapat memonitor suhu baterai untuk mencegah *overheating*. Beberapa tipe *charge Controller* juga menampilkan data, mengirimkan data ke *remote displays*, dan data *logging* untuk melacak aliran listrik dari waktu ke waktu*. Solar Charge Controller* yang dipilih harus lulus test kualifikasi dan memenuhi persyaratan teknis dalam pemakaiannya. Persyaratan teknis dalam penggunaan *Solar Charge Controller* antara lain adalah :

1. Kapasitas maksimum *input* dan *output*
2. Mempunyai tegangan batas bawah dan batas atas terhadap pemutusan baterai
3. Konsumsi diri yang sangat kecil
4. Mempunyai proteksi hubung singkat dan beban lebih
5. Tegangan jatuh yang kecil (< 0,5 V) pada sisi PV - baterai dan pada sisi baterai – beban
6. Mempunyai *"Blocking Diode"* dan sesuai dengan kapasitas maksimum

D.1. Solar Charge Control Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Rangkaian MPPT mengatur daya keluaran modul *photovoltaic* agar selalu berada pada titik daya maksimum dan sekaligus mengatur proses pengisian baterai. Kapasitas daya fotovoltaik dapat dimanfaatkan secara optimal karena ketidaksesuaian antara tegangan fotovoltaik dan tegangan kerja baterai dapat dihindari. Mempunyai efisiensi yang tertinggi diantara tipe-tipe regulator lainnya. Mempergunakan sistem *chooper* dengan frekuensi tinggi sehingga apabila desain dan fabrikasinya kurang baik akan menimbulkan interferensi. Teknologinya cukup rumit dan biayanya relatif mahal. Seperti ditunjukkan pada gambar 24. mengenai rangkaian MPPT Regulator.



Gambar 24. Rangkaian MPPT Regulator

D.2. Kriteria *Solar Charge* Kontrol MPPT

Secara signifikan dapat meningkatkan daya lebih dari 30% , meliputi :

1. Terlihat pada *output* panel, dan membandingkannya dengan tegangan baterai;
2. Pada gambar adalah kemampuan terbaik pada panel untuk dapat mengisi baterai. Ini dibutuhkan ini dan mengkonversi ke tegangan terbaik untuk mendapatkan AMPS maksimal ke dalam baterai;
3. Paling modern MPPT adalah sekitar 92 – 97% efisien dalam konversi;
4. Amper adalah hal yang paling penting dalam pengisian;
5. MPPT melihat baterai hampir habis, mengubah tegangan ekstra untuk Ampere.
   Seperti ditunjukkan pada gambar 25. mengenai *Solar Charge Controller* MPPT SCB 48120.

Gambar 25. *Solar Charge Controller* MPPT SCB 48120

D.3. Spesifikasi *Solar Charge Control*

Parameter – parameter penting dalam menentukan *Solar Charge* kontrol antara lain arus, sistem tegangan, dan sistem proteksi. Parameter - parameter utama tersebut dan parameter pendukung lainnya adalah sebagai berikut :

- ✓ Arus :
  - Arus *input* dan arus *output* maksimum
- ✓ Sistem tegangan :
  - Tegangan nominal
  - Tegangan sistem maksimum, tegangan open circuit
  - Positif atau negatif ground
- ✓ Sistem proteksi:
  - Beban lebih/hubung singkat
  - Arus balik *(reverse current)*
- ✓ Batasan tegangan cut-off dan rekoneksi:
  - Tegangan batas atas *(PV cut-off)*
  - Tegangan bawah *(beban cut-off)*
- ✓ Konsumsi daya:
  - Nominal
  - Konsumsi diri *(self-consumption)*
- ✓ Tegangan jatuh:
  - Pada sisi PV - baterai (termasuk blocking-diode)
  - Pada sisi beban – baterai
- ✓ Tambahan lain disain:
  - *Set point* yang dapat diatur
  - Temperatur kompensasi
- ✓ Pengaruh lingkungan:
  - Indoor dan *Outdoor*
  - Untuk aplikasi di laut *(marine)*
  - Penangkal petir
  - Temperatur ekstrim
  - Debu, serangga, perusak
- ✓ Sistem Pengaman:
  - Sikring dan *Circuit Breaker* (CB)
- ✓ Pelayanan:
  - Kemudahan pemasangan
  - Kehandalan
  - Garansi
- ✓ Penggantian/suku cadang

D.4. Beban Berlebih Dan Hubung Singkat

Beban berlebih adalah suatu pemakaian beban yang melebihi kapasitas maksimum *output Solar Charge* kontrol. Sebagai contoh, jika kapasitas maksimum *output Solar Charge* kontrol adalah 40 Ampere, tegangan 48 Volt tegangan baterai, maka apabila pemakaian beban melebihi 40 Ampere, dikatakan beban berlebih, dan biasanya *Solar Charge* kontrol mempunyai proteksi/pencegahan yang secara otomatis akan memutuskan beban, jika terjadi adanya beban berlebih tersebut.

Hubung singkat terjadi akibat adanya hubungan langsung antara polaritas positip (+) dengan polaritas negatif (-) dari suatu sumber tegangan. Dalam hal ini terminal positif beban (beban+) dan terminal negatif beban pada *Solar Charge* kontrol juga merupakan suatu sumber tegangan yang akan mensuplai daya listrik ke inverter dan ke beban konsumen.

Pada kondisi hubung singkat ini terjadi arus yang sangat besar, maka apabila *Solar Charge* kontrol tidak dilindungi dengan proteksi hubung singkat, tentunya akan terjadi kerusakan pada komponen elektronik

yang ada didalam *Solar Charge* kontrol tersebut, untuk sistem yang sederhana perlindungan hubung singkat ini dapat dilakukan dengan menggunakan sikring pengaman *(fuse).*

D.5. Polaritas Terbalik Pada Alat Pengatur Baterai

Polaritas terbalik pada alat pengatur baterai *(Solar Charge Control)* dapat terjadi pada tahapan berikut ini:

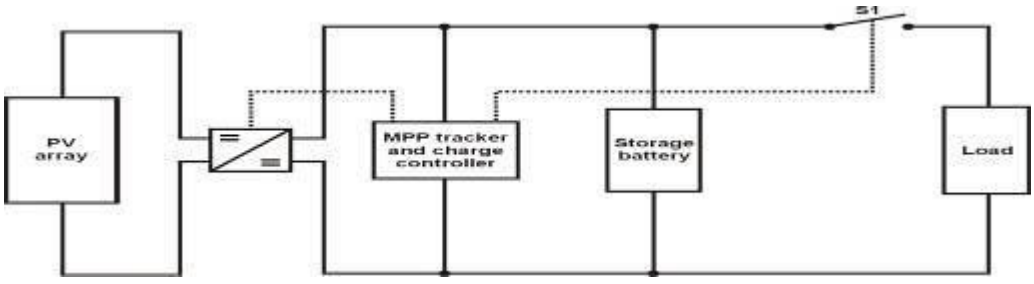
1. Terbaliknya hubungan antara *photovoltaic* dengan *Solar Charge* kontrol.
2. Terbaliknya hubungan antara baterai dengan *Solar Charge* kontrol.
3. Terbaliknya hubungan antara *Solar Charge* kontrol dengan beban.

Solar Charge kontrol yang bermutu baik, akan mempunyai perlindungan terhadap kerusakan *Solar Charge Control* akibat terjadinya polaritas terbalik untuk hubungan *photovoltaic Solar Charge* kontrol (point 1) dan polaritas terbalik untuk hubungan baterai *Solar Charge* kontrol (point 2), sedangkan untuk hubungan *Solar Charge Control* beban, proteksi polaritas terbaliknya berada pada beban yang bersangkutan.

Perlindungan terhadap polaritas terbalik untuk hubungan PV – *Solar Charge Control* adalah dilakukan dengan memberikan suatu *"blockingdiode",* yang sekaligus merupakan pencegahan arus balik *(reverse current)* dari baterai menuju *photovoltaic*, sedangkan perlindungan polaritas terbalik untuk hubungan baterai *Solar Charge* kontrol, harus dilengkapi dengan beberapa tambahan komponen atau rangkaian elektronik.

D.6. Alat Pengatur Baterai PV *ARRAY*

Photovoltaic array adalah solar modul dihubungkan secara seri untuk mendapatkan tegangan dan paralel untuk mendapatkan arus di *Solar Charge Control*. Susunan solar modul akan membentuk suatu *array* modul, untuk meningkatkan tegangan dan keluaran arus pada baterai dengan total daya yang tersedia Biasanya tegangan baterai bank 48 Volt atau 120 Volt DC. *Solar Charge* kontrol *photovoltaic array* harus dipasang berdekatan dengan baterai yang ditempatkan tidak terkena sinar matahari secara langsung dan tidak terkena air hujan. Walaupun suatu *photovoltaic array* menghasilkan daya ketika memposisikan ke cahaya matahari, maka sejumlah komponen lain yang diperlukan dengan baik akan melakukan, kontrol, mengkonversi, mendistribusikan, dan menyimpan energi yang diproduksi oleh *photovoltaic array* tersebut. Beberapa pengontrol *charge* mempunyai metering dan *datalogging* kemampuan untuk menunjukkan [beban/ tugas] pengontrol adalah suatu pengatur tegangan elektronik, menggunakan di dalam parameter pengoperasian sistem *off – Grid* dan sistem *Grid – tie* dan status baterai *charge* . Beberapa mempunyai beban baterei rendah *disconnect* untuk mencegah *over discharge* ."



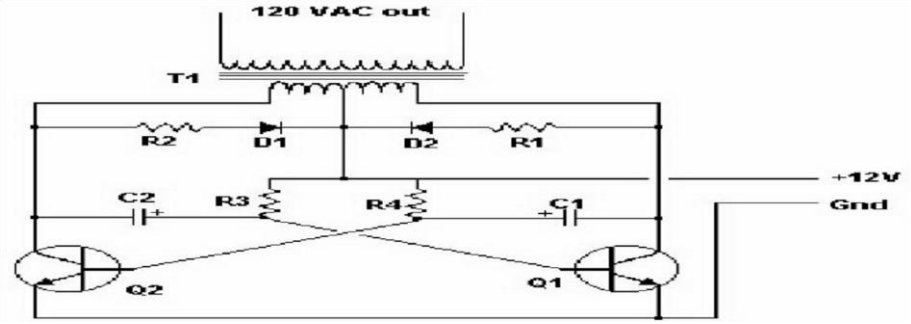
Gambar 26. Rangkaian MPP Tracker dan *Charge Control* PV *Array*

E. Inverter

Inverter adalah rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan searah (DC) ke suatu tegangan bolak-balik (AC). Ada beberapa topologi inverter yang ada sekarang ini, dari yang hanya menghasilkan tegangan keluaran kotak bolak – balik *(modified sine wave)* sampai yang sudah bisa menghasilkan tegangan sinus murni *(pure sine wave)*, inverter satu fasa, tiga fasa sampai dengan multifasa.

Dalam industri, inverter merupakan alat atau komponen yang cukup banyak digunakan karena fungsinya untuk mengubah listrik DC menjadi AC. Inverter juga digunakan untuk mengatur kecepatan motor-motor listrik/servo motor atau bisa disebut *converter drive.* Cuma untuk servo lebih dikenal dengan istilah *servo drive*. Dengan menggunakan inverter, motor listrik menjadi *variable speed.* Kecepatannya bisa diubah ubah atau diseting sesuai dengan kebutuhan. Inverter seringkali juga disebut sebagai *Variabel Speed Drive (VSD)* atau *Variable Frequency Drive (VFD).*

Sumber tegangan *input* inverter dapat menggunakan baterai, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Inverter dalam proses konversi tegangn DC menjadi tegangan AC membutuhkan suatu penaik tegangan berupa *step up transformer.* Seperti ditunjukkan pada gambar 27. Rangkaian dasar sederhana inverter.



Gambar 27. Rangkaian Dasar Sederhana Inverter

E.1. Inverter Berdasarkan Bentuk Gelombang

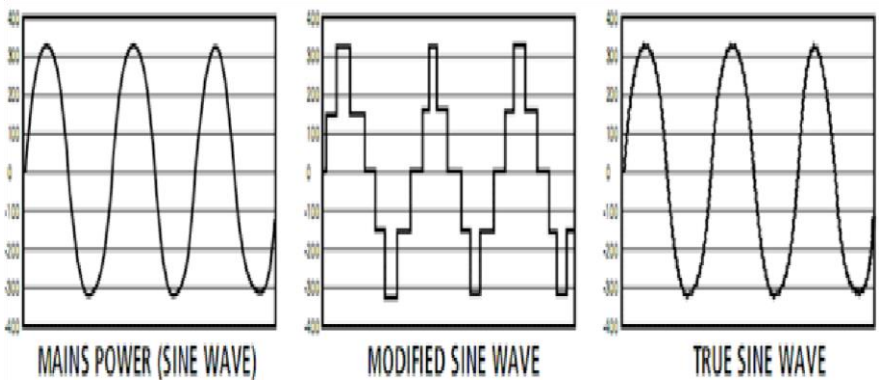
Berdasarkan bentuk gelombang keluaran, inverter biasanya dibagi dalam 2 (dua) golongan, meliputi :

1. Inverter Modified Sine Wave

Bentuk gelombang sinus keluarannya masih berbentuk sinus persegi, tipe inverter seperti ini harganya murah dan banyak ditemui dijual bebas dipasar. Namun inverter jenis ini efisiensinya rendah (< 80%), akibatnya mengkonsumsi daya yang cukup besar. Biasanya ukuran kapasitas Inverter jenis ini juga tidak terlalu besar (< 2 KW). Inverter tipe ini kurang cocok diaplikasikan ke alat – alat listrik yang menggunakan motor listrik (pompa, kipas angin).

2. Inverter Pure/True Sine Wave

Bentuk gelombang sinus keluarannya nyaris berbentuk sinus yang sempurna, tipe inverter seperti ini harganya relatif mahal dan kapasitasnya besar (> 1 KW). Inverter jenis ini efisiensinya tinggi (> 80%), sehingga konsumsi dayanya rendah. Inverter tipe ini sangat tepat diaplikasikan ke alat – alat listrik yang menggunakan motor listrik. Seperti ditunjukkan pada gambar 28, mengenai bentuk gelombang inverter.

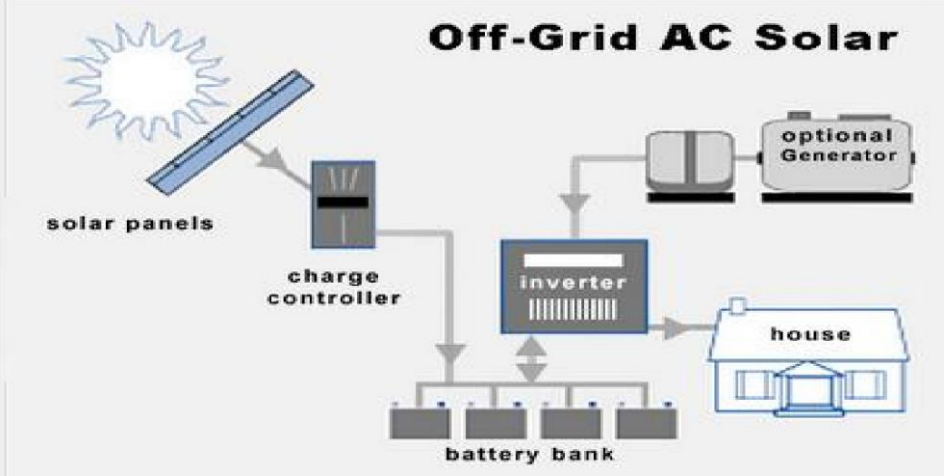


Gambar 28. Bentuk Gelombang Inverter

Inverter dimanfaatkan untuk mensuplai daya listrik ke beban. Beban listrik dapat berupa lampu penerangan atau peralatan – peralatan elektronik yang membutuhkan daya listrik.

E.2. Pengertian Inverter Bidirectional

Arti dari kata bidirectional adalah dua arah. Pada Inverter bidirectional, maka apabila sebuah inverter (DC ke AC) juga dilengkapi dengan kemampuan sebagai *rectifier* yaitu dari AC ke DC, maka unit "inverter" tersebut bisa dikatakan sebagai inverter bidirectional karena arus listriknya bisa mengalir ke kedua arah. Seperti ditunjukkan pada gambar 29. mengenai Siklus Kerja Inverter Bidirectional.



Gambar 29. Siklus Kerja Inverter Bidirectional

F. Rangkuman

Solar panel mengkonversikan tenaga matahari menjadi listrik. Sel silikon disebut juga *Solar Cells* yang disinari matahari/surya, membuat photon yang menghasilkan arus listrik. Sebuah *Solar Cells* menghasilkan memiliki tegangan 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 17 Volt dibutuhkan 36 sel dengan spesifikasi tegangan 12 Volt. Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah 5 (lima) jam. Pembangkit listrik tenaga surya tipe *photovoltaic* atau modul surya adalah pembangkit listrik yang menggunakan irradiasi matahari akibat efek fotoelektrik dalam menghasilkan listrik. Modul surya terdiri dari 3 lapisan, lapisan panel P di bagian atas, lapisan pembatas di tengah, dan lapisan panel N di bagian bawah. Efek fotoelektrik adalah di mana irradiasi sinar matahari menyebabkan elektron di lapisan panel P terlepas, sehingga menyebabkan proton mengalir ke lapisan panel N di bagian bawah dan apabila dihubungkan ke beban lampu terjadi perpindahan arus proton atau arus listrik. Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dimanfaatkan untuk menggerakkan beban. Beban dapat berupa lampu penerangan atau peralatan elektronik lainnya yang membutuhkan listrik.

Pengintalasian kabel penghubung yang akan menghubung antara modul surya, *Combiner box*, *Solar Charge* kontrol untuk pengisian/pengosongan baterai PV solar, baterai, inverter, panel distribusi dan pengguna. Kegunaan kontrol pengisian baterai PV solar adalah sangat penting sekali, karena sebagai pengatur pengisian/pengosongan baterai tersebut dari PV solar tersebut.

Umumnya baterai yang dikenal dan digunakan antara lain batere stater untuk solar home sistem, baterai gel dan baterai AGM. Pada inverter merupakan konverter daya listrik yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC). Inverter dimanfaatkan untuk mensupalai daya listrik ke beban. Beban dapat berupa lampu penerangan atau peralatan elektronik lainnya yang membutuhkan listrik. Pada inverter adalah rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan arus searah (DC) ke suatu arus bolak-balik (AC). Ada beberapa topologi inverter yang ada sekarang ini, dari yang hanya menghasilkan tegangan keluaran kotak bolak - balik *(modified sine wave)* sampai yang sudah bisa menghasilkan tegangan sinus murni *(pure sine wave)* terdiri dari inverter satu fasa, tiga fasa sampai dengan multifasa.

KOMPONEN PENUNJANG

A. Pendahuluan

Dalam pelaksanaan proyek pembangunan listrik tenaga surya, diupayakan sebisa mungkin untuk dapat memaksimalkan peran serta masyarakat setempat dalam pembangunan dan tahap pelaksanaannya, sehingga ketika proyek nanti selesai dan diserahkan kepada masyarakat lokal mereka telah terbiasa dan terbangun rasa memiliki untuk mengelola dan merawatnya dikemudian hari. Peran serta lokal dapat berupa teknologi lokal, peralatan lokal, material lokal, dan tenaga kerja lokal. Pemakaian alat dari luar negeri harus dipertimbangkan dengan baik terutama berkenaan dengan kemampuan masyarakat desa untuk mengoperasikan dan keberlanjutan pengoperasian peralatan. Ketersediaan suku cadang dalam negeri dan teknisi yang menguasai pengoperasian, perawatan dan perbaikan jika terjadi kerusakan pada alat merupakan suatu hal yang sangat penting jika peralatan dan komponen didatangkan dari luar negeri.
Merupakan hal yang penting untuk operasional yang berkelanjutan, bahwa masyarakat pengguna merasa akrab dan mengenal sistem merupakan milik mereka. Penghargaan mereka terhadap keberadaan listrik dan kesadaran akan kewajiban yang harus dilakukan dapat dibangun dengan memberikan kesadaran memiliki dalam masyarakat. Hal ini dapat dilakukan dengan melibatkan peran serta masyarakat lokal, seperti pada tahap implementasi proyek. Setiap komponen asing dapat diterima, jika dapat dioperasikan, diperbaiki dan diganti secara lokal. Jika hal tersebut tidak memungkinkan, maka diperlukan peninjauan ulang dari desain yang diusulkan. Sebelum tahap pemasangan dilaksanakan ada beberapa hal yang harus diselesaikan, sehingga tidak menghambat pekerjaan dari proyek dikemudian hari. Adapun hal-hal tersebut seperti :

1. Desain dan gambar final serta anggaran biayanya
2. Perjanjian jual beli listrik dengan pln jika itu interkoneksi atau *on Grid* dan kesepakatan harga tarif dengan pengguna untuk sistem *off Grid*
3. Kajian dampak sosial, ekonomi dan lingkungan
4. Kontrak perjanjian kerja dengan kontraktor
5. Ijin – ijin lainnya

B. Pekerjaan Sipil Pondasi PLTS

Pondasi, adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk memikul beban bangunan, meneruskan dan membaginya secara merata ke atas lapisan tanah yang keras. Keseimbangan akan tercapai apabila pondasi menyalurkan beban dari bangunan kelapisan tanah secara merata, sehingga bilapun pada suatu saat harus terjadi penurunan itu juga akan terjadi secara merata. Beban yang harus dipikul oleh pondasi terdiri dari beban mati, yaitu beban berat sendiri pondasi dan seluruh bangunannya, beban angin dan lain-lain. Disamping beban mati, juga dipikul beban hidup, seperti beban manusia (penghuni), perabotan dan lain-lain. Konstruksi pondasi harus dirancang dengan penuh perhitungan, dengan memeprtimbangkan faktor-faktor sebagai berikut :

1. Organisasi ruang bangunan
2. Kapasitas dan berat beban bagian-bagian bangunan
3. Struktur bangunan
4. Kondisi tanah (jenis dan kedalaman tanah keras)
5. Jenis bahan pondasi
6. Analisis hidrologis
7. Daya dukung tanah dan lain-lain

B.1. Struktur Penyangga

Solar modul dirakit menjadi *photovoltaic array* pada struktur penyangga *(mounting structure)*. Di struktur penyangga ada beberapa jenis sistem hubungan pemasangan instalasi yaitu seri atau paralel. Struktur penyangga untuk pemasangan modul surya menjadi *array* di lapangan terbuka atau bangunan gedung. Struktur penyangga sebuah rak besar dipasang di atas tanah dimana solar modul dipasang di rak tersebut dan dibuatkan menjadi fotovoltaik *array*. Sebagai bangunan struktur penyangga fotovoltaik

array, berbagai macam struktur penyangga (*mounting*) telah dikembangkan seperti struktur penyangga miring, struktur penyangga datar yang terintegrasi dengan solar modul dan sesuai kapasitas solar modul yang digunakan. Penyangga modul fotovoltaik di tempatkannya pada rak atau frame berbasis dudukan support yang melekat pada tanah atau bangunan diatas gedung. Pondasi *ballasted mounts* seperti cor beton pada tanah atau baja dasar untuk bangunan gedung yang mengamankan peletakan solar modul dalam posisi mengarah irradiasi matahari. Penyangga modul fotovoltaik harus dipasang dengan benar serta kokoh yang akan memberikan dukungan sistem struktural dari deretan susunan modul fotovoltaik sesuai kebutuhan daya wattpeaknya. Pemasangan penyangga modul fotovoltaik untuk terhindar dari kerusakan hembusan angin dan diinduksi kilat serta bahaya cuaca potensial lainnya. Sebuah sistem penyangga modul fotovoltaik dapat dipergunakan untuk mengatur orientasi arah utara atau selatan dan elevasi sudut kemiringan dari sistem.

Penyangga modul fotovoltaik untuk memaksimalkan kinerja energi.dari modul fotovoltaik tersebut. Biasanya terbuat dari *stainless steel* atau aluminium. Sistem penyangga modul fotovoltaik dirancang untuk aplikasi pemasangan secara universal yaitu bingkai penyangga modul fotovoltaik miring yang dipasang diatas tanah atau atap bangunan gedung atau pemasangan bingkai secara datar diatas tanah atau atap. Pemasangan penyangga modul fotovoltaik harus baik dan mudah dipasang. Penyangga modul fotovoltaik dibuat dari kualitas bahan bebas karat atau bahan dengan perlindungan terhadap korosi seperti baja galvanis Penyangga modul fotovoltaik harus efektif melindungi kabel – kabel.

Solar modul dirakit menjadi *photovoltaic array* pada struktur penyangga *(mounting structure)*. Di struktur penyangga ada beberapa jenis sistem hubungan pemasangan instalasi yaitu seri atau paralel. Struktur penyangga untuk pemasangan modul surya menjadi *array* di lapangan terbuka atau bangunan gedung. Struktur penyangga sebuah rak besar dipasang di atas tanah dimana solar modul dipasang di rak tersebut dan dibuatkan menjadi fotovoltaik *array*. Sebagai bangunan struktur penyangga fotovoltaik *array*, berbagai macam struktur penyangga (*mounting*) telah dikembangkan seperti struktur penyangga miring, struktur penyangga datar yang terintegrasi dengan solar modul dan sesuai kapasitas solar modul yang digunakan. Penyangga modul fotovoltaik ditempatkannya pada rak atau *frame* berbasis dudukan support yang melekat pada tanah atau bangunan diatas gedung. Pondasi *ballasted mounts* seperti cor beton pada tanah atau baja dasar untuk bangunan gedung yang mengamankan peletakan solar modul dalam posisi mengarah irradiasi matahari.

Penyangga modul fotovoltaik harus dipasang dengan benar serta kokoh yang akan memberikan dukungan sistem struktural dari deretan susunan modul fotovoltaik sesuai kebutuhan daya wattpeaknya. Pemasangan penyangga modul fotovoltaik untuk terhindar dari kerusakan hembusan angin dan diinduksi kilat serta bahaya cuaca potensial lainnya. Sebuah sistem penyangga modul fotovoltaik dapat dipergunakan untuk mengatur orientasi arah utara atau selatan dan elevasi sudut kemiringan dari sistem. Penyangga modul fotovoltaik untuk memaksimalkan kinerja energi.dari modul fotovoltaik tersebut. Biasanya terbuat dari *stainless steel* atau aluminium. Sistem penyangga modul fotovoltaik dirancang untuk aplikasi pemasangan secara universal yaitu bingkai penyangga modul fotovoltaik miring yang dipasang diatas tanah atau atap bangunan gedung atau pemasangan bingkai secara datar diatas tanah atau atap. Pemasangan penyangga modul fotovoltaik harus baik dan mudah dipasang. Penyangga modul fotovoltaik dibuat dari kualitas bahan bebas karat atau bahan dengan perlindungan terhadap korosi seperti baja galvanis Penyangga modul fotovoltaik harus efektif melindungi kabel – kabel. Seperti ditunjukkan pada gambar 30. mengenai struktur penyangga modul surya

Gambar 30. Struktur Penyangga Modul Surya

B.2. Rumah Pembangkit

Rumah Pembangkit *(Power House)* adalah pusat segala kegiatan baik pembagian beban dan penyaluran dalam pengoperasian maupun pemeliharaan rumah pembangkit adalah pusat penempatan alat yang berisikan peralatan utama dan pengawatan sistem. Pengawatan PV *array* sebagai pengubah energi akan terhubung ke rumah pembangkit. melalui sistem kontrolnya dan peralatan lainnya. Rumah pembangkit merupakan pusat peyediaan dan pemanfaatan energi listrik yang telah diproduksi oleh PV *array*, untuk kemudian dialirkan ke rumah pembangkit. Dalam rumah pembangkit terdapat komponen utama berupa *Solar Charge Control*, baterai, inverter dan komponen pendukung lainnya, seperti panel distribusi, peralatan pengaman (proteksi) baik pada *Solar Charge* kontrol, inverter dan panel distribusi. Seperti ditunjukkan pada gambar 31. mengenai rumah pembangkit PLTS Terpusat 15 kW.

Gambar 31. Rumah Pembangkit PLTS Terpusat 15 kW

B.3. Pagar Dan Lingkungan

Pagar BRC adalah pagar minimalis yang sama kegunaannya dengan pagar – pagar lainnya yaitu sebagai pengaman rumah, gedung, kantor, lahan, bandara, pemagaran jalan tol dan bisa sebagai pemisah lahan. Pagar BRC memang sangat mudah digunakan dan sangat mudah pula cara memasangnya, berikut beberapa keunggulan – keunggulan pagar BRC. Pagar BRC dibuat dari baja tegangan tinggi U50 grade dgn tegangan ijin 2900 kg/cm^2 sekitar 2.5 kali kekuatan besi biasa, sehingga sangat kuat dan tidak mudah patah. Segitiga dibagian atas dan bawah adalah sebagai ciri khas pagar BRC, pagar BRC ini memiliki *cross wire* 25 yang setiap jarak dari besi kebesi lainnya 10 cm berbeda dengan jenis pagar umumnya dan mempunyai panjang standar 240 cm dengan ketebalan besinya yang standar mulai dari ketebalan 6 mm, 7 mm dan 8 mm yang biasa digunakan, adapun untuk ketebalan besi yang tidak standar yaitu 10 mm artinya bahwa pagar BRC difinishing dengan 2 (dua) jenis lapisan kimia yaitu *hotdip galvanis* dan *electroplating*.

Dengan hasil penelitian serta uji coba ketahanan karat bahwa lapisan *hotdip galvanis* memiliki daya tahan yang paling kuat terhadap timbulnya karat dengan ketahanan karat mulai 5 – 10 tahun bahkan bisa lebih sampai perawatan ulang/pengecatan, sehingga sangat cocok sekali dipakai atau dipasang di daerah yang korosif seperti pinggiran laut, daerah belerang, jalan tol dan bandara yang jarang sekali dan jauh kemungkinan untuk merawat tiap bulan dan Sedangkan untuk lapisan *electroplating* hanya memiliki daya tahan karat sekitar 6 bulan sampai dengan 2 tahun dan biasanya setiap 6 bulan/1 tahun sudah mulai kelihatan berubah warnanya sehingga memerlukan perawatan/pengecatan ulang, pagar BRC *electroplating* ini biasanya digunakan untuk pemagaran yang bersifat sementara contohnya pemagaran proyek, pemagaran rumah.

Pemasangan pagar BRC sangat flexible dan mudah, yaitu dapat menggunakan tiang BRC yang sudah siap dipasang (lengkap dengan tutup dop, mur dan baut, clamp, dan angkur), bisa juga dikaitkan ke tulangan tiang beton yang akan dicor, atau kalau tiang beton sudah jadi tinggal pake *dynabolt* dan clamp ke tiang beton tersebut. Seperti ditunjukkan pada gambar 32. mengenai pagar BRC dan lingkungan.

Gambar 32. Pagar BRC dan Lingkungan

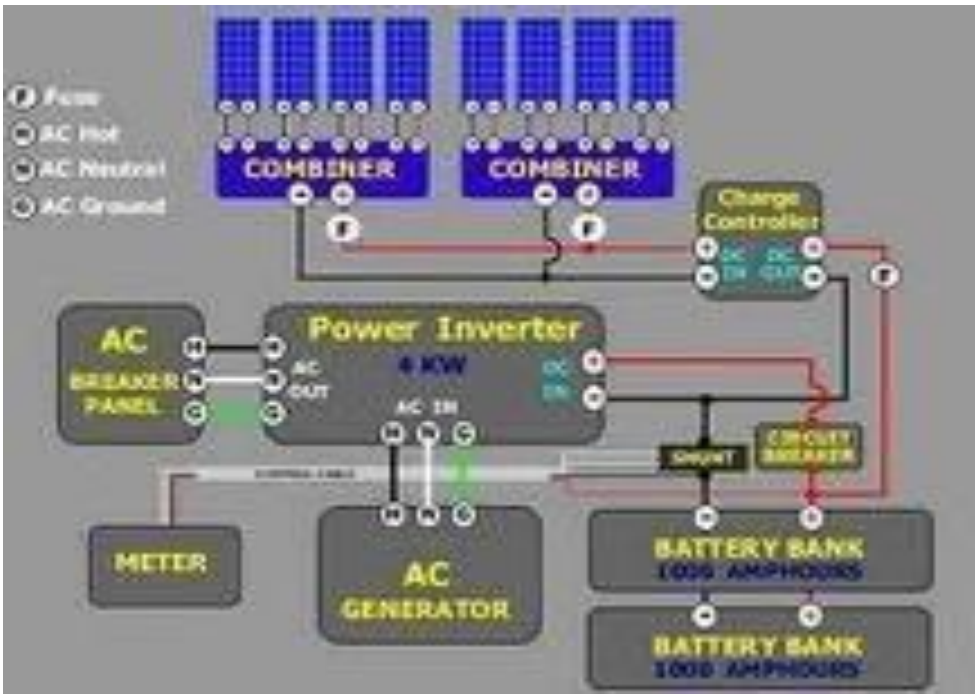
C. Sistem Pengawatan dan Proteksi

Listrik yang yang baik tentu harus memiliki penghantar yang baik juga ini dikarenakan agar maksimalnya kinerja dari penghantaran arus listrik tersebut untuk itu sebelum masuk ke pembahasan inti untuk mengenal terlebih dahulu kabel – kabel penghantar yang biasa digunakan dalam instalasi listrik.

Sistem proteksi tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa komponen yang di rancang untuk mengidentifikasi kondisi sistem tenaga listrik dan bekerja berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan atau sudut fasa antara keduanya. Informasi yang diperoleh dari sistem tenaga listrik akan digunakan untuk membandingkan besarannya dengan besaran ambang batas (*threshold setting*) pada peralatan proteksi. Apabila besaran yang diperoleh dari sistem melebihi *setting* ambang batas peralatan proteksi, maka sistem proteksi akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Peralatan proteksi pada umumnya terdiri dari beberapa elemen yang dirancang untuk mengamati kondisi sistem dan melakukan suatu tindakan berdasarkan kondisi sistem.

C.1. Sistem Pengawatan

Diagram instalasi pembangkit listrik tenaga surya ini terdiri dari solar panel, *charge Controller*, inverter, baterai. Dari diagram pembangkit listrik tenaga surya diatas: beberapa solar panel di paralel untuk menghasilkan arus yang lebih besar. *Combiner* pada gambar diatas menghubungkan kaki positif panel surya satu dengan panel surya lainnya. Kaki/kutub negatif panel satu dan lainnya juga dihubungkan. Ujung kaki positif panel surya dihubungkan ke kaki positif *charge Controller*, dan kaki negatif panel surya dihubungkan ke kaki negatif *charge Controller*. Tegangan panel surya yang dihasilkan akan digunakan oleh *charge Controller* untuk mengisi batere. Untuk menghidupkan beban perangkat AC *(alternating current)* seperti televisi, radio, komputer, dan lain – lain, arus baterai disuplai oleh inverter. Seperti ditunjukkan pada gambar 33. mengenai pengawatan diagram satu garis PLTS Terpusat.



Gambar 33. Contoh Pengawatan Diagram Satu Garis PLTS Terpusat

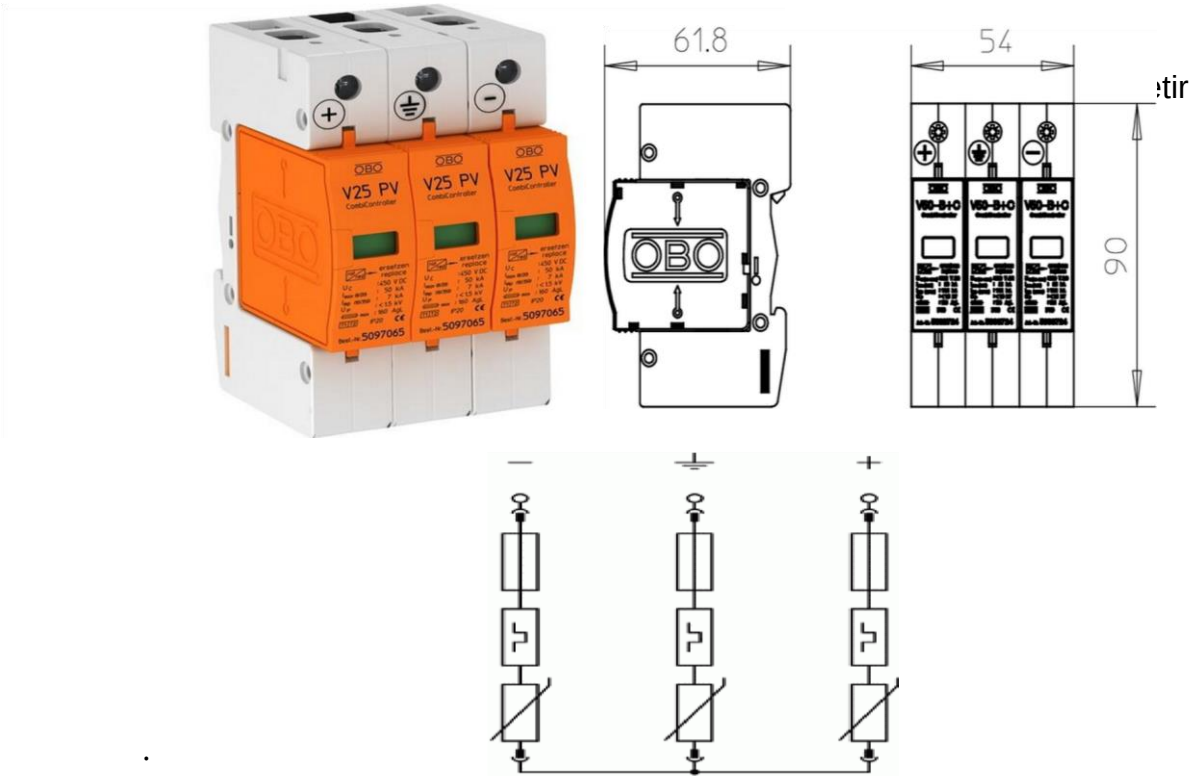
C.2. Sistem Proteksi

Keandalan dan kemampuan suatu sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen dan keamanan alat modul surya pada *Combiner box*, *Solar Charge contoller*, inverter dan panel distribusi sangat tergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Sistem proteksi yang akan digunakan, seperti: spesifikasi *switchgear*, *rating circuit breaker* (CB), fuse PV *Transient Voltage* Surge, Proteksi *Photovoltaic* Reverse Polaritas, Proteksi *Over current*, Proteksi *Overvoltage* dan *Sistem Proteksi Lightning arester* serta penetapan besaran-besaran yang menentukan bekerjanya suatu relay (setting relay) untuk keperluan proteksi. Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah dan sebagainya.

C.3. PV Transient Voltage Surge

Pembuangan langsung ke *array* PV, sambaran terdekat ke bumi, dan awan untuk pelepasan awan mungkin memiliki efek merusak pada sistem PV dan komponennya. Efek paling nyata dari pelepasan yang kerusakan besar dengan karbonisasi terlihat komponen sistem. Sedikit terlihat adalah efek pada sistem listrik yang disebabkan oleh paparan jangka panjang untuk diulang tegangan transien yang tinggi.

Transien ini dapat menyebabkan kegagalan komponen prematur, mengakibatkan reparasi substansial dan atau biaya penggantian, serta penghasilan generasi yang hilang. Sementara sistem surya akan selalu tetap di lingkungan yang sangat terbuka, mereka dapat dirancang untuk menjadi aman dari efek petir. Sistem proteksi petir (LPS) memberikan zona pelindung untuk menjamin terhadap sambaran langsung ke sistem PV dengan memanfaatkan prinsip-prinsip dasar dari terminal udara, bawah konduktor, ikatan ekipotensial, jarak pemisahan dan impedansi rendah sistem grounding elektroda. Terminal udara tunggal menawarkan cone proteksi berdasarkan puncak terminal udara. Menggunakan model bola bergulir untuk lightening proteksi, beberapa terminal udara membuat zona proteksi. Peralatan dibawah busur antara ujung terminal udara dianggap terlindungi.
Sebuah transient proteksi tegangan lebih sementara bertindak sebagai tegangan dikendalikan saklar dan dipasang antara konduktor aktif dan tanah secara paralel dengan peralatan yang akan dilindungi. Ketika tegangan suplai lebih rendah dari tegangan aktivasi, protektor bertindak sebagai elemen impedansi tinggi sehingga tidak ada arus mengalir melalui itu. Seperti ditunjukkan pada gambar 34. mengenai hubungan diagram circuit PV *transient Voltage surge.*



Gambar 34. Hubungan Diagram/Circuit PV *Transient Voltage* Surge

C.4. Proteksi *Photovoltaic* Reverse Polaritas

Dengan beberapa sirkuit yang terhubung ke baterai atau sumber listrik DC lainnya selalu ada risiko bahwa Anda atau orang tanpa sengaja akan menghubungkannya dengan polaritas terbalik yaitu menghubungkan dari sumber listrik ke *input* negatif dari rangkaian dan negatif dari sumber daya ke *input* positif dari sirkuit. Tergantung pada sirkuit ini akan sering menyebabkan reaksi destruktif cepat dengan kapasitor ledakan, dioda terbakar, transistor blowing dan lain lain dalam rangka untuk melindungi sirkuit Anda itu adalah ide yang baik untuk menggabungkan beberapa bentuk proteksi polaritas terbalik. Pada artikel ini kita akan melihat beberapa pilihan yang tersedia dan mendiskusikan manfaat relatif mereka. Protect sirkuit Anda dari sambungan listrik polaritas terbalik. Menggunakan sekering untuk mencegah hubungan pendek saat menghubungkan panel surya untuk baterai.

C.5. Proteksi *Over current*

Relay proteksi *Over current* yang bekerja terhadap arus lebih, besarbesaran akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai. Ketentuan keselamatan dalam sistem listrik, seperti akan dilengkapi oleh gangguan ke tanah penyela sirkuit dengan menjaga terhadap kerusakan dan cedera akibat arus listrik berlebihan dan mematikan aliran arus saat mencapai tingkat tertentu. Dalam sistem tenaga listrik, arus lebih atau kelebihan saat ini adalah situasi dimana yang lebih besar daripada yang dimaksudkan arus listrik ada melalui konduktor, yang mengarah ke generasi berlebihan panas, dan risiko kebakaran atau kerusakan peralatan. Kemungkinan penyebab arus lebih termasuk sirkuit pendek, beban yang berlebihan, dan desain yang salah. Sekering, pemutus sirkuit, sensor suhu dan pembatas arus biasanya digunakan mekanisme perlindungan untuk mengontrol risiko arus lebih. Tergantung pada kapasitas yang diinginkan dari sistem PV, mungkin ada beberapa string PV terhubung secara paralel untuk mencapai arus yang lebih tinggi dan daya lebih.

Proteksi relai arus lebih yang bekerja terhadap arus lebih, besar-besaran akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I – set). Ketentuan keselamatan dalam sistem listrik, seperti akan dilengkapi oleh gangguan tanah penyela sirkuit, yang menjaga terhadap kerusakan dan cedera akibat arus berlebihan serta mematikan aliran arus saat mencapai tingkat tertentu. Dalam sistem tenaga listrik, arus lebih *(overcurrent)* saat ini adalah situasi di mana yang lebih besar daripada yang dimaksudkan arus listrik ada melalui konduktor, yang mengarah ke generasi berlebihan panas, dan risiko kebakaran atau kerusakan peralatan. Seperti ditunjukkan pada gambar 35. mengenai relai proteksi *overcurrent*.

Gambar 35. Relai Proteksi Overcurrent

C.6. Proteksi Overvoltage

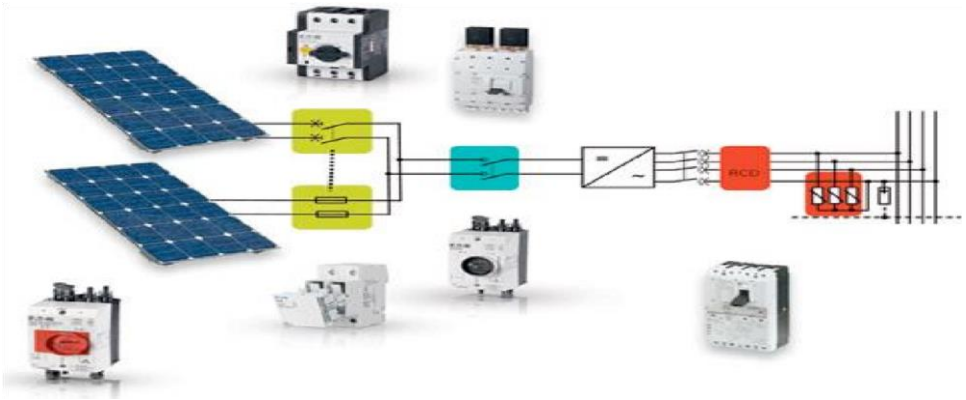
Sistem proteksi ini digunakan untuk memproteksi dari lonjakan tegangan pada titik yang diproteksi sehingga mencegah komponen pada titik yang diproteksi terbakar akibat tegangan yang berlebihan. *Overvoltage Protector* (OVP) mengacu pada sirkuit yang akan melindungi rangkaian bagian hilir dari kerusakan akibat tegangan yang berlebihan. Sebuah OVP memonitor tegangan DC yang berasal dari sumber daya eksternal, seperti *power supply off line* atau baterai, dan melindungi sisa sirkuit yang

terhubung menggunakan salah satu dari dua metode sirkuit linggis penjepit atau saklar yang terhubung seri. Linggis sirkuit pendek atau klem jalur suplai untuk membatasi tegangan, mungkin memicu bentuk lain dari perlindungan seperti sekering. Suatu koneksi seri *switch* menggunakan MOSFET atau transistor terhubung sebagai saklar seri dengan jalur suplai. Selama kondisi tegangan lebih, rangkaian OVP cepat menutup MOSFET dan memutus rangkaian bagian hilir. Seperti ditunjukkan pada gambar 36. mengenai Relay proteksi *under overvoltage.*

Gambar 36. Relay Proteksi Under Overvoltage

C.7. Sistem Proteksi Lightning Arester

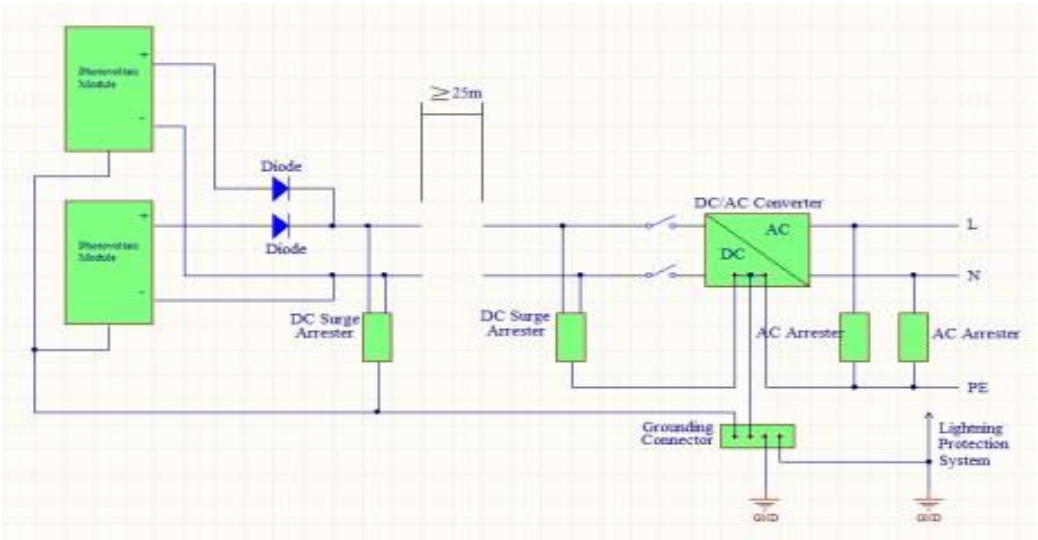
Petir adalah fenomena dimana muatan listrik negatif yang dihasilkan dalam pelepasan petir ke tanah sebagai akibat dari kerusakan dielektrik di udara. Sebuah gelombang petir, bahkan salah satu tidak langsung, menyebabkan tegangan lonjakan pada jalur kabel, dan mengirimkan tegangan tinggi impuls sesaat untuk sensor/transmitter Ketika muatan listrik yang dibangun di awan untuk tingkat seperti level yang bisa memecahkan isolasi atmosfer, sebuah *discharge* listrik akhirnya terjadi antara awan atau antara awan dan tanah. Arus listrik mencapai 20 – 150 kA. Tegangan abnormal tinggi yang dihasilkan oleh *direct* petir langsung diterapkan kabel daya atau kabel komunikasi listrik pada contoh yang disebut ''gelombang petir langsung''. Sejalan dengan itu, tegangan tersebut disebabkan oleh induksi elektrostatik atau elektromagnetik pada mereka kabel terletak dekat ke titik dimana sebuah petir langsung memukul, disebut 'gelombang petir induksi'. Seperti ditunjukkan pada gambar 37. dan 38. mengenai contoh letak posisi sistem proteksi dan mengenai Sistim Proteksi dan *Compact Disconnectors* Untuk Inverter



Gambar 37. Contoh Letak Posisi Sistem Proteksi

Gambar 38. Sistem Proteksi dan *Compact Disconnectors* Untuk Inverter

Petir adalah fenomena di mana muatan listrik negatif yang dihasilkan dalam pelepasan petir ke tanah sebagai akibat dari kerusakan dielektrik di udara. Sebuah gelombang petir, bahkan salah satu tidak langsung, menyebabkan tegangan gelombang pada jalur kabel, dan mengirimkan tegangan tinggi impuls sesaat untuk sensor / transmitter, *DC String Circuit – breaker*. Seperti ditunjukkan pada gambar 39. mengenai pengawatan diagram satu garis DC.



Gambar 39. Pengawatan Diagram Satu Garis DC

C.8. Pembumian

Kelayakan Grounding/Pembumian harus bisa memiliki nilai Tahanan sebaran Maksimal 5 Ohm (bila bibawah 5 Ohm lebih baik), untuk nilai grounding seperti ini tidak semua areal bisa memenuhinya tergantung oleh berbagai macam aspek :

a. Kadar Air bila air tanah dangkal/penghujan maka nilai tahanan sebaran mudah didapatkan.
b. Mineral/garam kandungan mineral tanah sangat mempengaruhi tahanan karena semakin berlogam maka listrik semakin mudah menghantarkan
c. Keasaman semakin asam PH tanah maka arus listrik semakin mudah menghantarkan
d. Tekstur tanah untuk daerah yang bertekstur pasir dan porous akan sulit untuk mendapatkan tahana sebaran yang baik karena untukjenis tanah ini air dan mineral akan mudah hanyut

Single grounding penancapan sebuah stick arus pelepas ke tanah dengan kedalaman tertentu (misal 6 meter). Paralel *grounding* bila sistem *single* masih mendapatkan hasil yang kurang baik (diatas 5 Ohm) maka perlu ditambahkan stick arus pelepas dengan minimal jarak antar stick 2 meter dan disambung, hal ini dilakukan berulang sampai menghasilkan nilai tahanan tanah dibawah 5 Ohm dan dinamakan paralel grounding maximal, grounding bila pada daerah yang memiliki ciri – ciri sebagai berikut :

1. Kering/air tanah dalam
2. Kandungan logam sedikit
3. Basa (berkapur)
4. Pasir dan Porous.

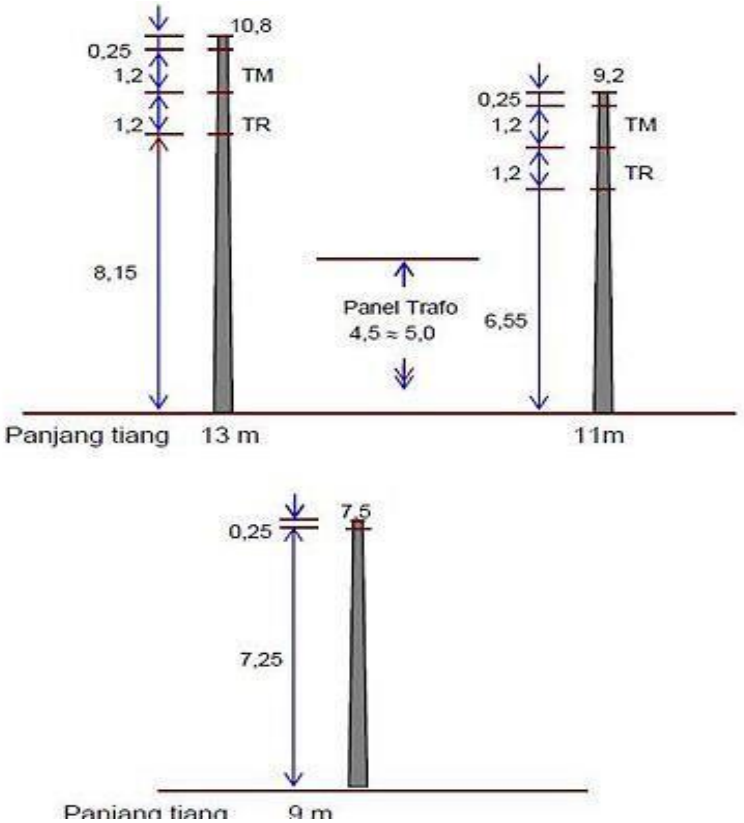
Apabila penggunaan 2 (dua) cara yaitu *single grounding* dan *paralel grounding* diatas bisa gagal maka bisa digunakan cara penggantian tanah pada daerah titik grounding tersebut.

C.9. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

Sistem Distribusi Tegangan Rendah merupakan bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi dibawah 1 kV langsung kepada para pelanggan tegangan rendah. Pada umumnya tiang listrik yang sekarang digunakan pada SUTR terbuat dari beton bertulang dan tiang besi. Tiang kayu sudah jarang digunakan karena daya tahannya (umumnya) relatif pendek dan memerlukan pemeliharaan khusus. Sedang tiang besi jarang digunakan karena harganya relatif mahal dibanding tiang beton, disamping itu juga memerlukan biaya pemeliharaan rutin. Dilihat dari fungsinya, tiang listrik dibedakan menjadi dua yaitu tiang pemikul dan tiang tarik. Tiang pemikul berfungsi untuk memikul konduktor dan isolator, sedang tiang tarik fungsinya untuk menarik konduktor. Sedang fungsi lainnya disesuaikan dengan kebutuhan sesuai dengan posisi sudut tarikan konduktornya. Bahan baku pembuatan tiang beton untuk tiang tegangan menengah dan tegangan rendah adalah sama, hanya dimensinya yang berbeda. Untuk tegangan rendah 9 meter (7,5 meter diatas tanah). Seperti ditunjukkan pada tabel 3. mengenai ukuran panjang tiang jaringan distribusi tegangan rendah dan gambar 40. mengenai tiang jaringan listrik.

Tabel 3. Ukuran Panjang Tiang Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

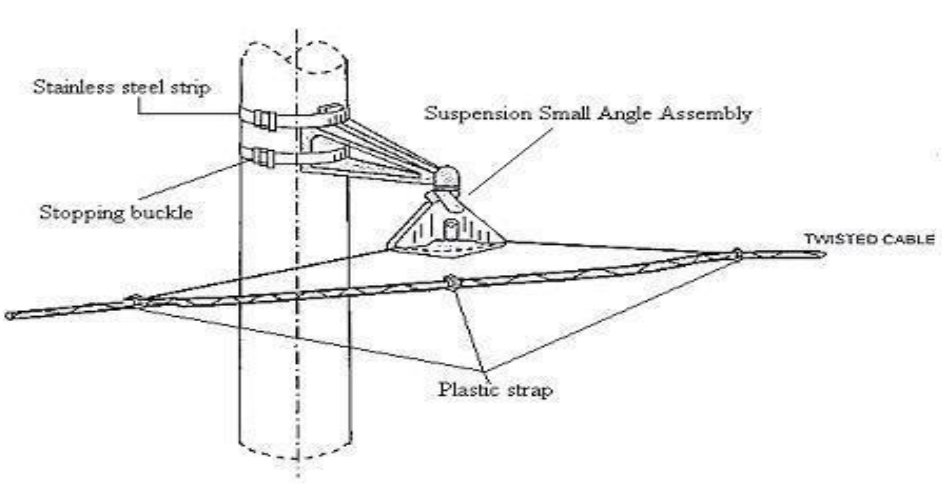
No	Tegangan	Rangkaian	Panjang tiang (mtr)	Type (daN)	Span Maksimum
1	Menengah	Tunggal	11 13	350 350	80 120
2	Menengah	Ganda	11 13	350 350	50 60
3	Rendah	Tunggal	9 9	100 200	40 60



Gambar 40. Tiang Jaringan Listrik

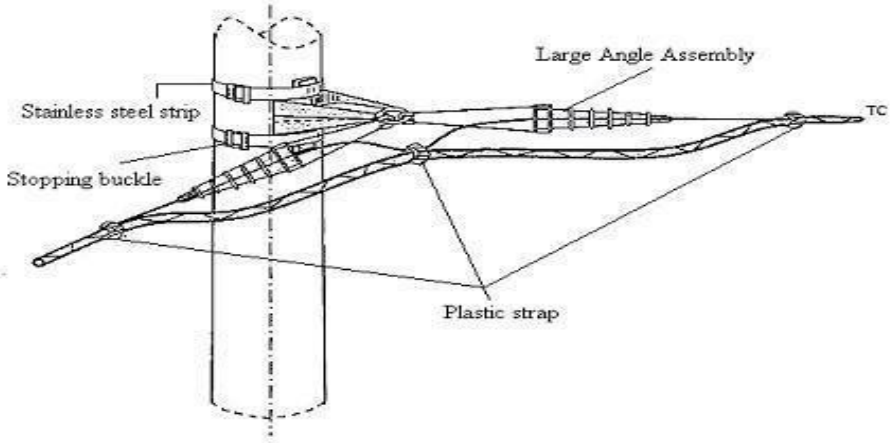
Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) dengan LVTC *(Low Voltage Twisted Cable)*, saat ini sudah dikembangkan, hal ini untuk mempertinggi keandalan, faktor keamanan dan lain – lain. Pada gambar dibawah ini bentuk dan kostruksi tiang tegangan rendah, sebagai berikut :

1. **Konstruksi Tiang Tegangan Rendah 1 (TR-1)**



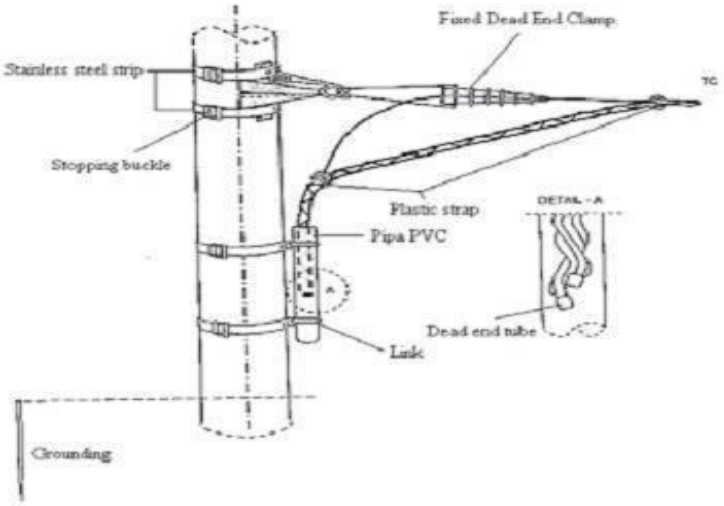
Gambar 41. Konstruksi Pemasangan SKUTR Tiang Penyangga TR 1

2. **Konstruksi Tiang Tegangan Rendah 2 (TR-2)**



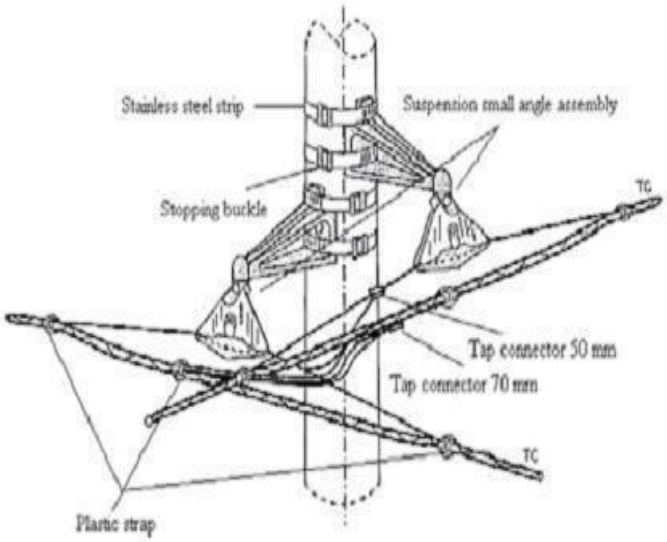
Gambar 42. Konstruksi Pemasangan SKUTR Tiang Sudut TR 2

3. **Konstruksi Tiang Tegangan Rendah (TR-3)**



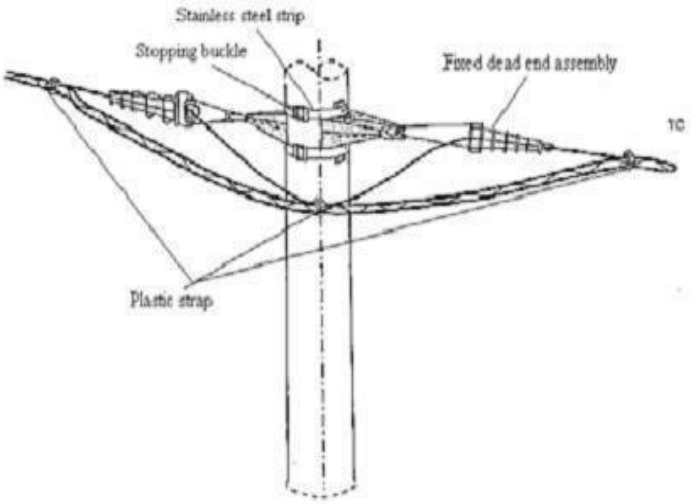
Gambar 43. Konstruksi Pemasangan SKUTR Tiang Awal/Akhir TR 3

4. **Konstruksi Tiang Tegangan Rendah (TR-4)**



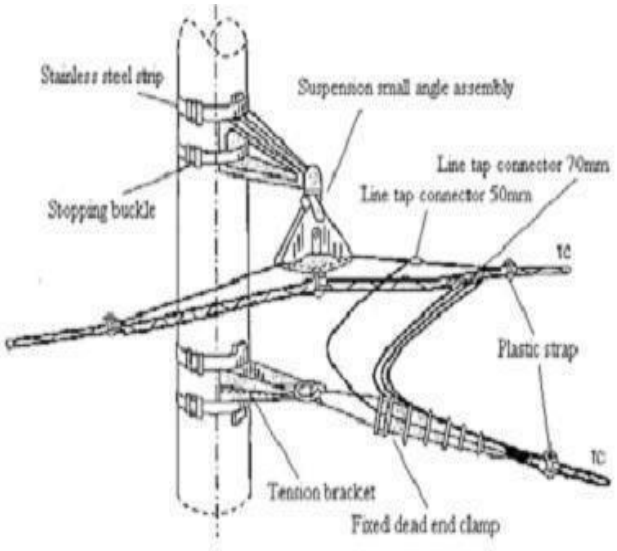
Gambar 44. Konstruksi Pemasangan SKUTR Tiang Penyangga Pada Persimpangan TR 4

5. **Konstruksi Tiang Tegangan Rendah (TR-5)**



Gambar 45. Konstruksi Pemasangan SKUTR Tiang Penegang TR 5

6. **Konstruksi TR-6**

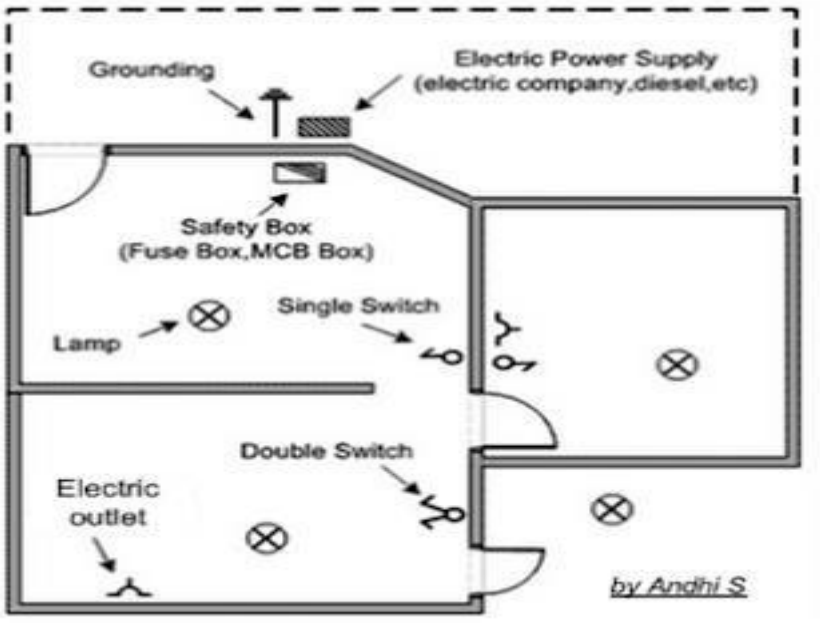


Gambar 46. Konstruksi Pemasangan SKUTR Tiang Pencabangan TR 6

D. Instalasi Beban

D.1. Persyaratan Teknis

Dalam merancang instalasi listrik suatu rumah tinggal, diasumsikan bahwa instalasi listrik tersebut tidak akan diperiksa atau diperbaiki selama rumah tersebut tidak dibongkar (bisa akibat direnovasi atau dibongkar total untuk dibangun kembali). Biasanya diasumsikan usia instalasi rumah sekitar 30 Tahun. Kabel Listrik berpenghantar tembaga dan berisolasi PVC yang terpasang secara permanen di dalam rumah harus dengan ukuran minimal 2,5 mm^2, berapapun jumlah daya listrik yang terpasang dan hanya boleh dialiri listrik maksimal 10 A Jika arus listrik > 10 A tetapi < 16 A (berlangganan 3.500 VA, 1 phase), kabel utama *(feeder)* harus menggunakan ukuran 4 mm^2. Untuk rumah tinggal menggunakan listrik tenaga surya. Instalasi beban terdiri 3 (tiga) titik lampu dan 1 (satu) kotak kontak. Seperti ditunjukkan pada gambar 47. mengenai contoh instalasi beban rumah.



Gambar 47. Contoh Instalasi Beban Rumah

E. Rangkuman

Komponen penunjang seperti pada pekerjaan sipil, sistem pengawatan dan proteksi. Pada pekerjaan sipil yang dilaksanakan sebagai komponen penunjang dari peralatannya adalah pondasi dan pemasangan struktur penyangga, konstruksi sipil rumah pembangkit dan konstruksi beton pada kaki pagar lingkungan PLTS Terpusat. Pondasi, adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk memikul beban bangunan, meneruskan dan membaginya secara merata ke atas lapisan tanah yang keras. Keseimbangan akan tercapai apabila pondasi menyalurkan beban dari bangunan kelapisan tanah secara merata, sehingga bilapun pada suatu saat harus terjadi penurunan itu juga akan terjadi secara merata. Beban yang harus dipikul oleh pondasi terdiri dari beban mati, yaitu beban berat sendiri pondasi dan seluruh bangunannya, beban angin dan lain – lain. Sistem proteksi tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa komponen yang di rancang untuk mengidentifikasi kondisi sistem tenaga listrik dan bekerja berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan atau sudut fasa antara keduanya. Informasi yang diperoleh dari sistem tenaga listrik akan digunakan untuk membandingkan besarannya dengan besaran ambang batas (*threshold setting*) pada peralatan proteksi. Apabila besaran yang diperoleh dari sistem melebihi *setting* ambang batas peralatan proteksi, maka sistem proteksi akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Peralatan proteksi pada umumnya terdiri dari beberapa elemen yang dirancang untuk mengamati kondisi sistem dan melakukan suatu tindakan berdasarkan kondisi sistem. Sistem Distribusi Tegangan Rendah merupakan bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi dibawah 1 kV langsung kepada para pelanggan tegangan rendah. Pada umumnya tiang listrik yang sekarang digunakan pada SUTR terbuat dari beton bertulang dan tiang besi. Tiang kayu sudah jarang digunakan karena daya tahannya (umumnya) relatif pendek dan memerlukan pemeliharaan khusus. Sedang tiang besi jarang digunakan karena harganya relatif mahal dibanding tiang beton.

Lampiran 3

Cara Menggunakan Multimeter / Multitester

Cara Menggunakan Multimeter / Multitester

Multimeter adalah alat yang berfungsi untuk mengukur Voltage (Tegangan), Ampere (Arus Listrik), dan Ohm (Hambatan/resistansi) dalam satu unit. Multimeter sering disebut juga dengan istilah Multitester atau AVOMeter (singkatan dari Ampere Volt Ohm Meter). Terdapat 2 jenis Multimeter dalam menampilkan hasil pengukurannya yaitu Analog Multimeter (AMM) dan Digital Multimeter (DMM).

Sehubungan dengan tuntutan akan keakurasian nilai pengukuran dan kemudahan pemakaiannya serta didukung dengan harga yang semakin terjangkau, Digital Multimeter (DMM) menjadi lebih populer dan lebih banyak dipergunakan oleh para Teknisi Elektronika ataupun penghobi Elektronika.

Dengan perkembangan teknologi, kini sebuah Multimeter atau Multitester tidak hanya dapat mengukur Ampere, Voltage dan Ohm atau disingkat dengan AVO, tetapi dapat juga mengukur Kapasitansi, Frekuensi dan Induksi dalam satu unit (terutama pada Multimeter Digital). Beberapa kemampuan pengukuran Multimeter yang banyak terdapat di pasaran antara lain :

- Voltage (Tegangan) AC dan DC satuan pengukuran Volt
- Current (Arus Listrik) satuan pengukuran Ampere
- Resistance (Hambatan) satuan pengukuran Ohm
- Capacitance (Kapasitansi) satuan pengukuran Farad
- Frequency (Frekuensi) satuan pengukuran Hertz
- Inductance (Induktansi) satuan pengukuran Henry
- Pengukuran atau Pengujian Dioda
- Pengukuran atau Pengujian Transistor

Bagian-bagian penting Multimeter

Multimeter atau multitester pada umumnya terdiri dari 3 bagian penting, diantanya adalah :

1. Display
2. Saklar Selektor
3. Probe

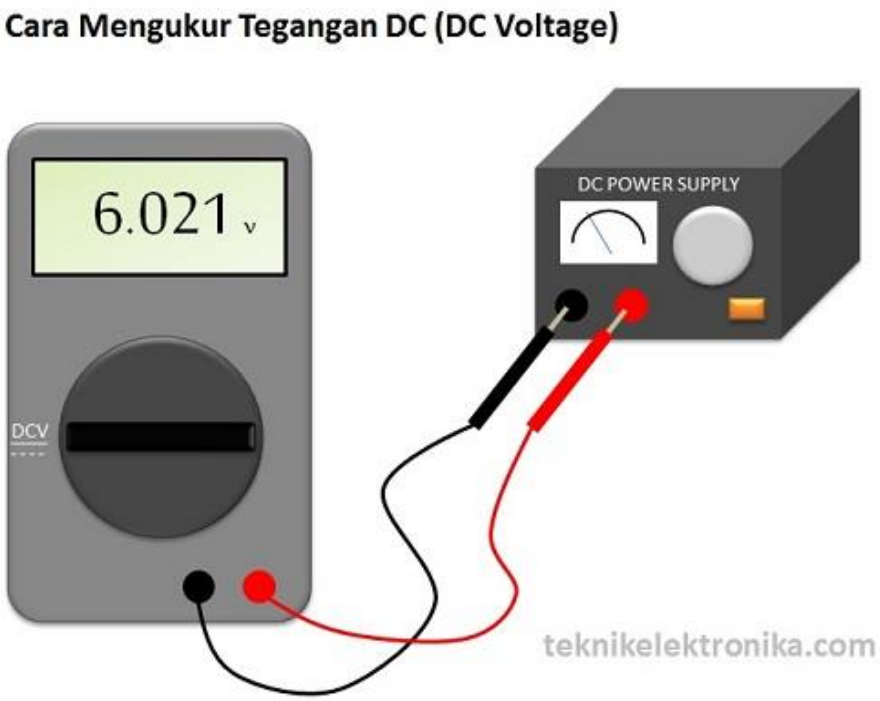
Gambar dibawah ini adalah bentuk Multimeter Analog dan Multimeter Digital beserta bagian-bagian pentingnya.

Cara Menggunakan Multimeter untuk Mengukur Tegangan, Arus listrik dan Resistansi

Berikut ini cara menggunakan Multimeter untuk mengukur beberapa fungsi dasar Multimeter seperti Volt Meter (mengukur tegangan), Ampere Meter (mengukur Arus listrik) dan Ohm Meter (mengukur Resistansi atau Hambatan).

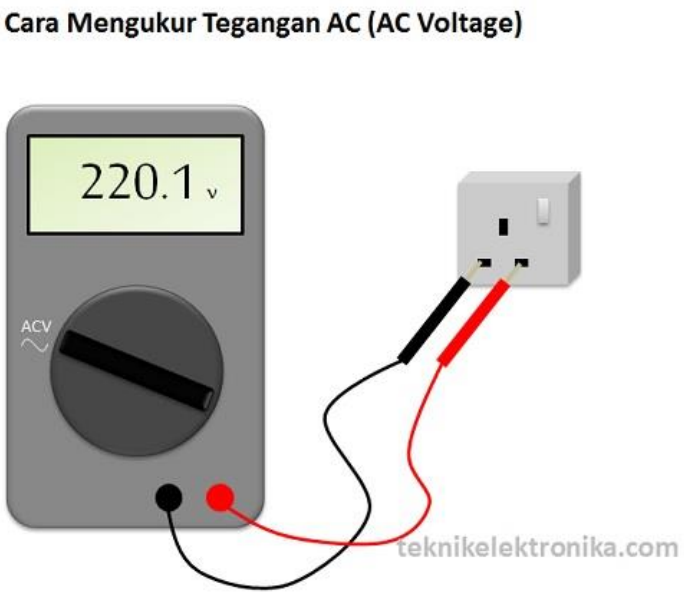
1. Cara Mengukur Tegangan DC (DC Voltage)

1. Atur Posisi Saklar Selektor ke DCV
2. Pilihlah skala sesuai dengan perkiraan tegangan yang akan diukur. Jika ingin mengukur 6 Volt, putar saklar selector ke 12 Volt (khusus Analog Multimeter)
   **Jika tidak mengetahui tingginya tegangan yang diukur, maka disarankan untuk memilih skala tegangan yang lebih tinggi untuk menghindari terjadi kerusakan pada multimeter.
3. Hubungkan probe ke terminal tegangan yang akan diukur. Probe Merah pada terminal Positif (+) dan Probe Hitam ke terminal Negatif (-). Hati-hati agar jangan sampai terbalik.
4. Baca hasil pengukuran di Display Multimeter.



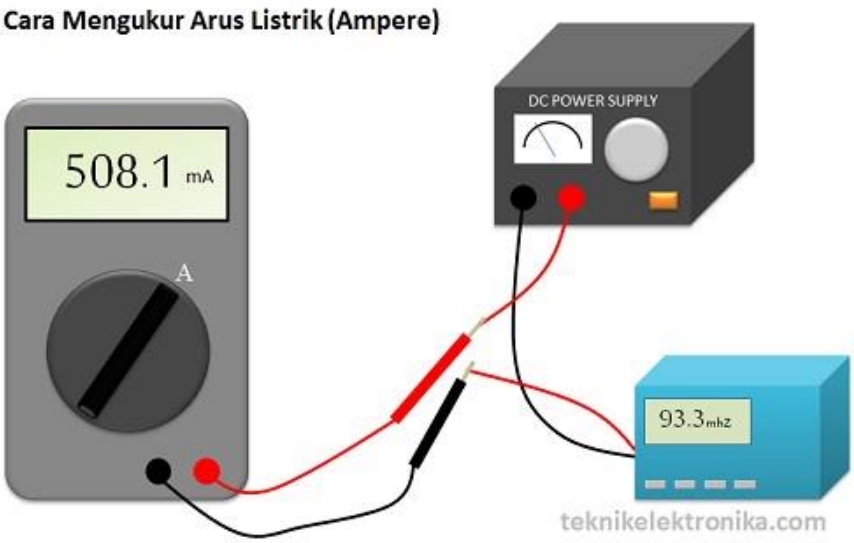
2. Cara Mengukur Tegangan AC (AC Voltage)

1. Atur Posisi Saklar Selektor ke ACV
2. Pilih skala sesuai dengan perkiraan tegangan yang akan diukur. Jika ingin mengukur 220 Volt, putar saklar selector ke 300 Volt (khusus Analog Multimeter)
   **Jika tidak mengetahui tingginya tegangan yang diukur, maka disarankan untuk memilih skala tegangan yang tertinggi untuk menghindari terjadi kerusakan pada multimeter.
3. Hubungkan probe ke terminal tegangan yang akan diukur. Untuk Tegangan AC, tidak ada polaritas Negatif (-) dan Positif (+)
4. Baca hasil pengukuran di Display Multimeter.



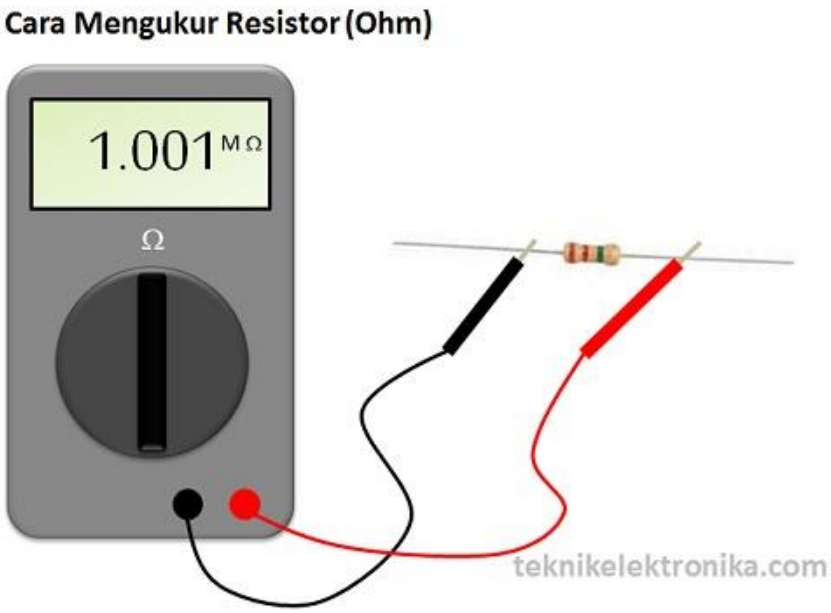
3. Cara Mengukur Arus Listrik (Ampere)

1. Atur Posisi Saklar Selektor ke DCA
2. Pilih skala sesuai dengan perkiraan arus yang akan diukur. Jika Arus yang akan diukur adalah 100mA maka putarlah saklar selector ke 300mA (0.3A). Jika Arus yang diukur melebihi skala yang dipilih, maka sekering (fuse) dalam Multimeter akan putus. Kita harus menggantinya sebelum kita dapat memakainya lagi.
3. Putuskan Jalur catu daya (power supply) yang terhubung ke beban,
4. Kemudian hubungkan probe Multimeter ke terminal Jalur yang kita putuskan tersebut. Probe Merah ke Output Tegangan Positif (+) dan Probe Hitam ke Input Tegangan (+) Beban ataupun Rangkaian yang akan kita ukur. Untuk lebih jelas, silakan lihat gambar berikut ini.
5. Baca hasil pengukuran di Display Multimeter



4. Cara Mengukur Resistor (Ohm)

1. Atur Posisi Saklar Selektor ke Ohm (Ω)
2. Pilih skala sesuai dengan perkiraan Ohm yang akan diukur. Biasanya diawali ke tanda "X" yang artinya adalah "Kali". (khusus Multimeter Analog)
3. Hubungkan probe ke komponen Resistor, tidak ada polaritas, jadi boleh terbalik.
4. Baca hasil pengukuran di Display Multimeter. (Khusus untuk Analog Multimeter, diperlukan pengalian dengan setting di langkah ke-2)



Cara Menggunakan Tang Ampere (Clamp Meter) dan Prinsip Kerjanya

Tang Ampere atau dalam bahasa Inggrisnya disebut dengan Clamp Meter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik pada sebuah kabel konduktor yang dialiri arus listrik dengan menggunakan dua rahang penjepitnya (Clamp) tanpa harus memiliki kontak langsung dengan terminal listriknya. Dengan demikian, kita tidak perlu mengganggu rangkaian listrik yang akan diukur, cukup dengan ditempatkan pada sekeliling kabel listrik yang akan diukur.Pada umumnya, Tang Ampere (Clamp Meter) yang terdapat di pasaran memiliki fungsi sebagai Multimeter juga. Jadi selain terdapat dua rahang penjepit, Clamp Meter juga memiliki dua probe yang dapat digunakan untuk mengukur Resistansi, Tegangan AC, Tegangan DC dan bahkan ada model tertentu yang dapat mengukur Frekuensi, Arus Listrik DC, Kapasitansi dan Suhu.

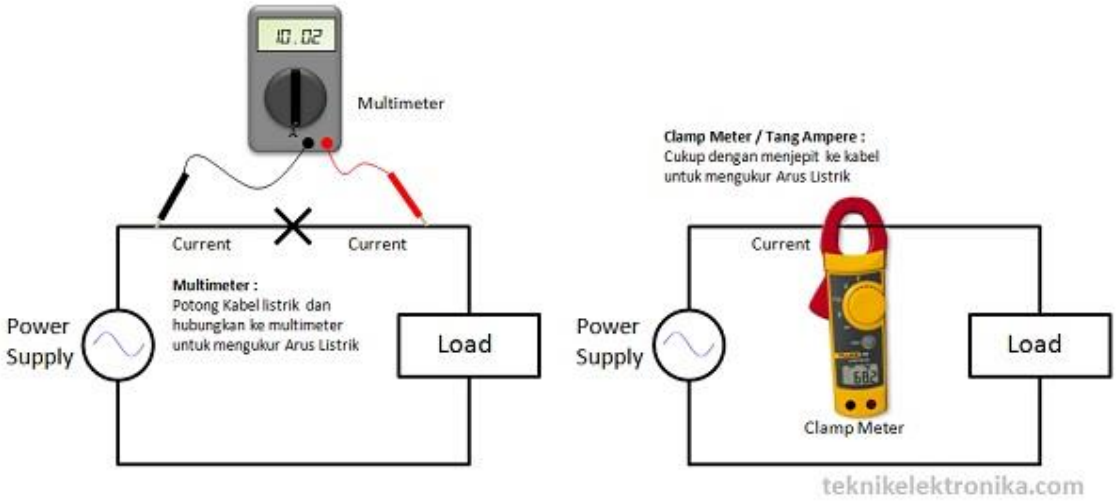
Cara Mengukur Arus Listrik (Ampere) dengan menggunakan Tang Ampere (Clamp Meter)

Cara menggunakan Tang Ampere atau Clamp Meter ini sebenarnya cukup mudah, yaitu dengan menjepitkan rahang penjepitnya ke kabel listrik yang diinginkan. Berikut ini adalah langkah-langkah selengkapnya untuk Mengukur Arus Listrik AC atau Ampere AC dengan menggunakan Clamp Meter (Tang Ampere).

1. Putar atau setting Saklar Clamp Meter ke posisi Ampere Meter (biasanya tertulis huruf A dengan gelombang sinus diatasnya).
2. Tekan Trigger untuk membuka rahang Penjepit Clamp Meter atau Tang Ampere.
3. Jepitkan Rahang penjepit ke kabel Konduktor yang dialiri arus listrik AC (Kabel Listrik berada di tengah-tengah rahang penjepit) kemudian lepaskan Trigger Clamp Meter.
   Catatan : Jika kabel listrik tersebut belum dialiri listrik, hubungkan kabel tersebut atau ON-kan perangkat yang ingin diukur arus listriknya.
4. Baca Nilai Ampere yang tertera di layar Clamp Meter (Tang Ampere).

Untuk mengukur Tegangan dan Resistansi, cara pengukurannya hampir sama dengan Multimeter yaitu dengan menggunakan Probe yang dicolokan di Terminal COM yang berwarna Hitam dan Terminal Positif yang berwarna Merah.

Dibawah ini adalah perbedaan Multimeter dan Clamp Meter dalam mengukur Arus listrik :



Prinsip Kerja Tang Ampere (Clamp Meter)

Pada dasarnya, Tang Ampere (Clamp Meter) menggunakan prinsip induksi Magnetik untuk menghasilkan pengukuran non-kontak terhadap arus listrik AC. Arus Listrik yang mengalir di kabel konduktor akan menghasilkan Medan Magnet. Seperti yang diketahui bahwa, arus AC adalah arus dengan polaritas yang bolak-balik, hal ini akan menyebabkan fluktuasi dinamis dalam medan magnet yang sebanding dengan aliran arus listriknya. Sebuah Transformator yang terdapat di dalam Clamp Meter/Tang Ampere akan merasakan fluktuasi magnet tersebut dan kemudian mengkonversikannya menjadi nilai Ampere (arus listrik) sehingga kita dapat membacanya di layar Clamp Meter. Cara Pengukuran dengan teknologi ini sangat mempermudahkan kita dalam mengukur arus listrik AC terutama pada arus listrik AC yang tinggi.

Lampiran 4

Formulir Daftar Pemeriksaan PLTS *Off-Grid*

Formulir Daftar Pemeriksaan PLTS Off-grid

Bulan

Lokasi Pembangkit:

Operator:

Kapasitas PLTS: kWp

Alokasi Energi Rumah Tangga: Wh

Jumlah Sambungan Rumah Tangga KK

Jumlah Sambungan Fasilitas Umum FASUM

No	Frekuensi	Aktivitas	Lokasi	Referensi Panduan	Contoh Pengisian	Tanggal						
						1	2	3	4	5	6	7
						8	9	10	11	12	13	14
						15	16	17	18	19	20	21
						22	23	24	25	26	27	28
						29	30	31				
	Harian	Waktu Pencatatan - **Pagi (06:00 - 07:00)**			*7:15*							
1		Catat Energi Keluar dari Panel Distribusi AC [kWh] - **Pagi**	Panel Distribusi AC	-	*50000*							
2		Hitung Selisih Energi Keluaran Hari Ini dan Kemarin [kWh] - **Pagi**	**Perhitungan**	**5.2**	*50*							
3		Catat Tegangan sistem Baterai [V] - **Pagi**	Inverter Baterai	-	*49.8*							
4		Periksa Indikator Charging atau Pengisian Baterai Menyala - **Pagi**	Solar charge controller / Inverter Baterai	-	✓							
		Waktu Pencatatan - **Malam (19:00 - 20:00)**			*19:30*							
5		Catat Energi Masuk dari Modul Surya [kWh]- **Malam**	Solar charge controller / Inverter *on-grid*	-	*71.5*							
6		Catat Tegangan sistem Baterai [V] - **Malam**	Inverter Baterai	2.2	*51.8*							
7		Periksa Indikator Discharging atau Penggunaan Beban menyala - **Mala**	Inverter Baterai	2.3	✓							
8		Cek Apakah Solar Carge Controller, Inverter Baterai, dan Inverter Jaringan beroperasi dengan baik (lampu ORANYE atau MERAH tidak menyala)	Solar charge controller / Inverter Baterai	2.3	✓							
9		Cuaca pada siang hari - Cerah = "**C**", Berawan = "**B**", Hujan = "**H**"	Solar charge controller / Inverter Baterai	2.2	*C*							

Petunjuk Pengisian
1. Isi daftar periksa sesuai dengan contoh pengisian
2. Semua kegiatan yang bersifat pengecekan, diisi dengan tanda:
   a. (✓) jika telah dilakukan dan dalam kondisi normal
   b. (×) jika telah dilakukan dan bermasalah
3. Tuliskan tanggal pengecekan untuk pemeliharaan mingguan, bulanan dan 6-bulanan

Formulir Daftar Pemeriksaan PLTS Off-grid

Bulan

Tahun

Lokasi Pembangkit:

Operator:

Kapasitas PLTS: kWp

Alokasi Energi Rumah Tangga: Wh

Jumlah Sambungan Rumah Tangga KK

Jumlah Sambungan Fasilitas Umum FASUM

No	Frekuensi	Aktivitas	Lokasi	Referensi Panduan	Contoh Pengisian	Minggu Ke .....
1	Mingguan	Cek kebersihan permukaan dan area modul surya	Modul Surya	1.1	✓*(01/01)*	
2		Cek apakah ventilasi rumah pembangkit tertutup rapat dan bersih	Rumah pembangkit	7.1	× *(01/01)*	
3		Cek temperatur ruangan baterai	Rumah pembangkit	3.3	✓*(01/01)*	
4		Cek apakah lubang kabel ke rumah pembangkit tertutup rapat	Rumah pembangkit	7.2	✓*(01/01)*	
5		Cek jalur kabel power dan kabel data	Rumah pembangkit	2.1	✓*(01/01)*	
6		Cek ventilasi inverter dan charge controller tidak tertutup dan bersih	Rumah pembangkit	2.1	✓*(01/01)*	

Petunjuk Pengisian

1. Isi daftar periksa sesuai dengan contoh pengisian
2. Semua kegiatan yang bersifat pengecekan, diisi dengan tanda:
   a. (✓) jika telah dilakukan dan dalam kondisi normal
   b. (×) jika telah dilakukan dan bermasalah
3. Tuliskan tanggal pengecekan untuk pemeliharaan mingguan, bulanan dan 6-bulanan

Formulir Daftar Pemeriksaan PLTS Off-grid

Bulan

Lokasi Pembangkit:

Operator:

Kapasitas PLTS: kWp

Alokasi Energi Rumah Tangga: Wh

Jumlah Sambungan Rumah Tangga KK

Jumlah Sambungan Fasilitas Umum FASUM

No	Frekuensi	Aktivitas	komponen	Referensi Panduan	Contoh Pengisian	Bulan Ke ...
1	Bulanan	Cek bayangan (shading) pada Modul Surya	Modul Surya	1.2	✓(01/01)	
2		Cek apakah setiap Modul Surya dalam keadaan baik	Modul Surya	1.4	✓(01/01)	
3		Cek kebersihan rumah pembangkit dan area dibawah Modul Surya	Rumah pembangkit	7.1 dan 1.3	× (01/01)	
4		Cek tidak ada lubang pada combiner box, tidak ada air ataupun sarang binatang	Combiner box	4.2	✓(01/01)	
5		Cek apakah kondisi MCB, sekring, dan proteksi tegangan surja (SPD) pada combiner box dalam keadaan baik	Combiner box	4.2	✓(01/01)	
6		Cek apakah sambungan kabel di combiner box aman, kering, dan bersih	Combiner box	4.2	✓(01/01)	
7		Cek apakah semua MCB atau sekring pada panel distribusi DC masih beroperasi	Panel Distribusi DC	5.3	✓(01/01)	
8		Cek Apakah Semua MCB, Sekring, SPD, dan Energi Meter pada panel Distribusi AC Masih Dalam Keadaan Baik	Panel Distribusi AC	5.3	× (01/01)	
9		Cek Apakah Ada Kebocoran Elektrolit Pada Baterai	Baterai	3.2	× (01/01)	
10		Cek Apakah Terminal Baterai Terlindungi Bahan Isolator, kencang, dan tidak berkarat (terjadi oksidasi yang ditunjukkan dengan timbulnya kerak berwarna putih)	Baterai	3.2	✓(01/01)	
3		Cek apakah semua kabel termasuk kabel jaringan distribusi dalam keadaan baik & lihat untuk keberadaan bekas goresan, insulasi yang terbuka atau bentuk lain dari kerusakan (misalnya kabel rusak oleh perilaku binatang, kabel tersentuh pohon/ranting/tumbuhan	Jaringan Distribusi	5.2	✓(01/01)	
11		Cek apakah lampu jalan beroperasi dan tidak terhalang pohon	Lampu Jalan	5.2	✓(01/01)	
12		Bersihkan Modul Surya dengan air dalam jumlah banyak (gunakan selang air) dan alat pembersih yang lembur (spons) tanpa menggunakan detergen	Modul Surya	1.1	✓(01/01)	
13		Cek apakah permukaan generator (PV Modul) menjadi subjek dan tekanan mekanis tertentu? (sebagai contoh: akibat adanya permukaan atap yang melengkung)	Modul Surya	-	✓(01/01)	
14		Cek apakah pagar pembangkit dalam kondisi baik (dapat dikunci, tidak berkarat dan tidak ada celah binatang masuk)	Rumah pembangkit	7.3	× (01/01)	
15		Cek semua sistem pembumian terpasang dengan baik	Seluruh Komponen	8.1	✓(01/01)	

Petunjuk pengisian:
1. Isi daftar periksa sesuai dengan contoh pengisian
2. Semua kegiatan yang bersifat pengecekan, diisi dengan tanda:
   a. (✓) jika telah dilakukan dan dalam kondisi normal
   b. (×) jika telah dilakukan dan bermasalah
3. Tuliskan tanggal pengecekan untuk pemeliharaan mingguan, bulanan dan 6-bulanan

Formulir Daftar Pemeriksaan PLTS Off-grid

Bulan

Lokasi Pembangkit:

Operator:

Kapasitas PLTS: **kWp**

Alokasi Energi Rumah Tangga: **Wh**

Jumlah Sambungan Rumah Tangga **KK**

Jumlah Sambungan Fasilitas Umum **FASUM**

No	Frekuensi	Aktivitas	Lokasi	Referensi Panduan	Contoh Pengisian	6 Bulanan
1	6-Bulanan	Cek apakah semua baut pada Modul Surya kencang dan tidak ada yang hilang	Modul Surya	1.4	✓*(01/01)*	
2		Cek Temperatur Setiap Baterai Tidak Ada Yang Menyimpang Jauh dari Baterai yang Lain	Baterai	3.3	× *(01/01)*	
3		Cek Apakah Ada Sambungan Liar	Jaringan Distribusi	5.2	✓*(01/01)*	
4		Cek apakah terdapat serangga/apakah terdapat kelembaban pada peralatan? (jika dipasang diluar ruangan)	PV Combiner / Junction Box (jika ada)	4.2	✓*(01/01)*	
5		Cek apakah tiang jaringan berdiri kokoh dan tegak lurus	Jaringan Distribusi	5.2	✓*(01/01)*	
6		Cek apakah energi limiter, pembumian, dan instalasi kabel rumah tangga terpasang dengan aman.	Rumah Pelanggan	7.4	✓*(01/01)*	

Petunjuk pengisian:
1. Isi daftar periksa sesuai dengan contoh pengisian
2. Semua kegiatan yang bersifat pengecekan, diisi dengan tanda:
   a. (✓) jika telah dilakukan dan dalam kondisi normal
   b. (×) jika telah dilakukan dan bermasalah
3. Tuliskan tanggal pengecekan untuk pemeliharaan mingguan, bulanan dan 6-bulanan

Lampiran 5

Buku Manual untuk Masing-Masing Komponen
PLTS *Off-Grid* Dikelompokkan Berdasarkan Merk dan Tipenya
(dapat dilihat di dalam *Compact Disk* yang disertakan dalam buku ini)

Lampiran 6

Daftar Layanan Pelanggan untuk Masing-Masing Komponen
PLTS *Off-Grid* Dikelompokkan Berdasarkan Merek/Distributor/Pabrikannya
(dapat dilihat di dalam *Compact Disk* yang disertakan dalam buku ini)

Lampiran 7

Keselamatan Ketenagalistrikan

Keselamatan Ketenagalistrikan

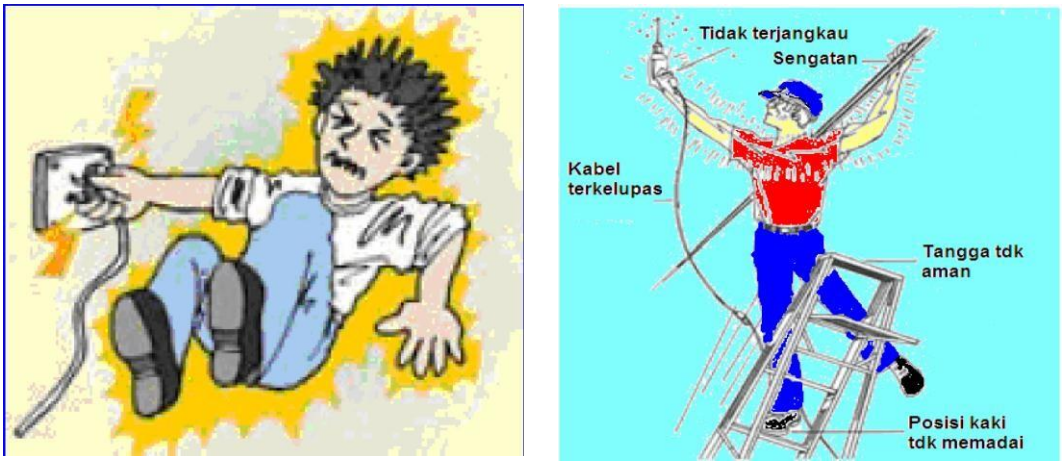
1. Identifikasi Bahaya Pada Sistem PLTS

1.1. Bahaya Listrik

Kecelakaan listrik yang umum menghasilkan kejutan dan atau luka bakar, otot tertarik, dan luka trauma (luka terbuka) yang biasa terjadi bila jatuh setelah terkena kejut listrik. Luka ini dapat terjadi setiap saat apabila arus listrik mengalir melalui tubuh manusia. Besar arus tergantung dari beda potensial dan tahanan pada jalur arus. Sangat sulit untuk memperkirakan tingkat bahaya dari listrik karena kulit manusia memiliki tahanan yang berbeda-beda yang tergantung dari tingkat kebasahan kulit. Jika arus lebih besar dari 20 miliampere mengalir melalui tubuh, maka tubuh dalam keadaan bahaya.
Jika PV sistem harus mensuplai arus bolak-balik, sistem pengubah arus dibutuhkan untuk mengubah daya arus searah dari PV sistem ke daya arus bolak-balik. Peralatan ini memiliki tegangan tinggi pada bagian input dan outputnya saat sedang beroperasi. Input nominal bisa mencapai 1000 Volt DC dengan output nominal 230 Volt AC.
Terdapat beberapa jenis bahaya yang dapat ditimbulkan oleh listrik terhadap manusia, lingkungan mapun instalasi itu sendiri. Bahaya yang mungkin timbul akibat listrik seperti: sengatan listrik, bahaya kebakaran akibat listrik, ledakan, medan elektromagnet, arus dan tegangan lebih.

a. Sengatan Listrik (*Electric Shock*)

Banyak orang kehilangan nyawa akibat kena sengatan listrik. Permasalahan utama listrik tidak dapat terlihat dan tidak bisa diraba, bahkan kita tidak mau merabanya. Kita tahu ada listrik setelah melihat akibatnya, seperti lampu menyala, kipas berputar, dan radio bersuara. Kesetrum atau sengatan listrik akan dirasakan jika arus listrik mengalir melalui tubuh kita. Biasanya arus akan mulai dirasakan jika arus yang mengalir lebih dari 5 mA. Pada arus yang kecil, aliran arus hanya akan mengakibatkan kesemutan atau kehilangan kemampuan untuk mengendalikan tangan. Pada arus yang besar, arus listrik bisa membakar kulit dan daging kita. Yang paling bahaya adalah jika arus tersebut mengalir melalui jantung atau otak. Perlu dicatat bahwa yang membahayakan adalah aliran arus listrik, bukan tegangan listrik. Walaupun tegangannya tinggi, bisa saja tidak membahayakan asalkan arusnya sangat kecil. Gambar 1, memberikan ilustrasi seseorang yang sedang mengalami sengatan listrik.



Gambar 1. Sengatan Listrik

b. Efek Termal (Kebakaran)

Bahaya kedua adalah panas atau kebakaran. Seringkali kita mendengar adanya kebakaran yang dipicu oleh listrik. Kebakaran muncul karena adanya efek termal atau panas yang muncul pada peralatan listrik. Panas terjadi karena adanya aliran arus yang sangat besar melalui suatu penghantar. Arus yang sangat

besar akan muncul karena adanya hubung singkat antar penghantar maupun saat beban lebih. Besarnya panas sebanding dengan kuadrat arus, besarnya resistansi, dan waktu.
Apabila kita menggunakan kabel yang terlalu kecil maka resistansinya besar sehingga kawat bisa mengalami pemanasan. Kawat yang panas bisa menyebabkan terbakarnya isolasi kabel sehingga mengakibatkan terjadinya hubung singkat. Kontak atau sambungan tak sempurna juga bisa menyebabkan timbulnya panas yang membakar isolasi kabel. Menutup lampu, menutup kipas angin, menutup layar komputer dengan bahan yang mudah terbakar juga membahayakan.

Gambar 2. Kebakaran Instalasi PLTS Karena Bahaya Listrik

c. Ledakan

Bahaya ketiga adalah ledakan. Saat terjadi hubung singkat, arus listrik yang mengalir akan sangat besar. Arus yang sangat besar bisa menyebabkan kenaikan temperatur yang sangat cepat sehingga menyebabkan naiknya tekanan udara secara cepat. Untuk instalasi perumahan, bahaya ini mungkin tidak terlalu besar karena arus hubung singkat yang mungkin terjadi tidak terlalu besar.

Gambar 3. Bahaya Ledakan Listrik

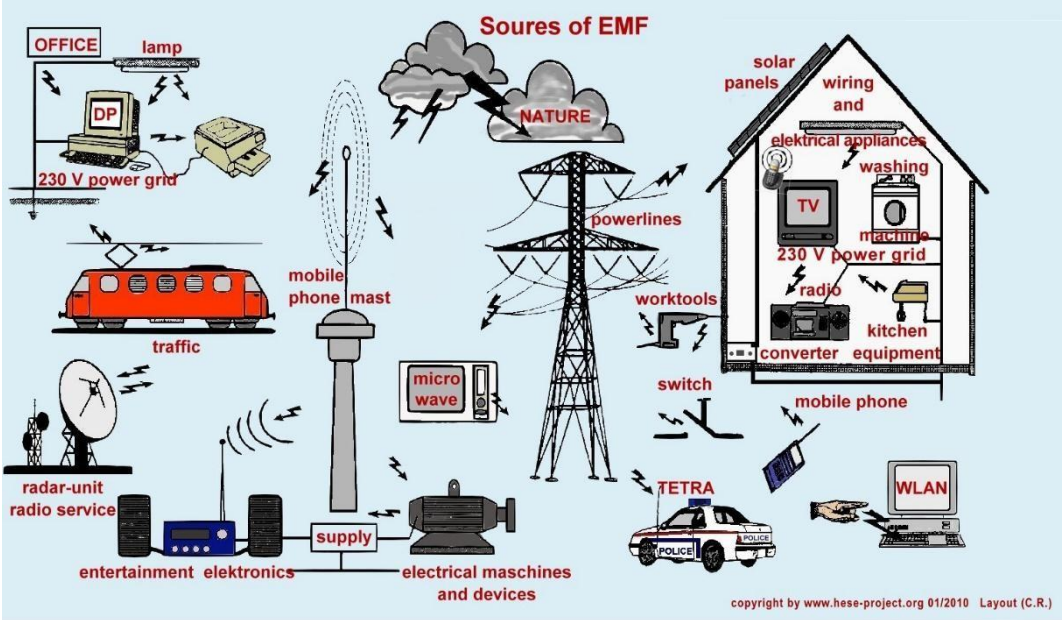
Bahaya ledakan listrik pada umumnya terjadi pada panel atau kubikel listrik pada bangunan perkantoran, hotel, mall, maupun gardu distribusi milik PLN. Ledakan akibat listrik terjadi karena terjadi hubung singkat antar penghantar, sehingga mengakibatkan arus yang sangat besar mengalir pada penghantar tersebut. Karena arus yang mengalir sangat besar menyebabkan ledakan pada penghantar tersebut. Gambar 3. mengilustrasikan bahaya ledakan akibat listrik pada suatu panel hubung bagi (PHB) yang terdapat di gedung.

d. Medan Elektromagnet

Medan elektromagnet dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu: medan listrik dan medan magnet. Radiasi medan elektromagnet yang terlalu besar, melebihi standar paparan radiasi yang dizinkan dapat membahayakan bagai kesehatan manusia.

1. **Medan Listrik**
   Medan listrik adalah suatu medan atau lapangan yang dapat menimbulkan gaya pada pertikel bermuatan listrik yang terletak dalam medan tersebut. Medan listrik itu sendiri timbul oleh adanya partikel bermuatan listrik atau dengan katalain oleh adanya tegangan listrik. Medan listrik berkurang kekuatannya selaras dengan bertambahnya jarak dari sumber. Satuan dari medan listrik adalah [kv/m].
2. **Medan Magnet**
   Medan magnet adalah suatu medan atau lapangan yang dapat menimbulkan gaya pada benda-benda magnet atau partikel bermuatan listrik. Medan magnet ditimbulkan oleh benda-benda magnet atau konduktor yang dialiri arus listrik. Ada beberapa besaran dari medan magnet, salah satunya adalah induksi medan magnet atau rapat fluks magnet. satuannya t (tesla) atau g (gauss) atau wb/m^2 (weber/meter persegi).

Gambar 2.3. mengilustrasikan berbagai jenis radiasi medan elektromagnetik yang disebabkan oleh berbagai peralatan listrik.



Gambar 4. Distribusi Arus Listrik

e. Arus Lebih

Hubung singkat atau beban lebih yang terjadi pada suatu instalasi/ peralatan listrik, dapat mengakibatkan arus listrik yang besar, dimana arus listrik yang besar ini akan menimbulkan panas yang berlebihan. Timbulnya panas yang berlebihan inilah yang akhirnya dapat menimbulkan kebakaran dan kerusakan pada peralatan/instalasi listrik serta gedung/bangunan dan seluruh isinya.

f. Tegangan Lebih

Gangguan tegangan terjadi kenaikan tegangan pada instalasi listrik. Berdasarkan penyebabnya maka gangguan tegangan lebih ini dapat dikelompokkan atas dua hal, yaitu:

1. **Tegangan lebih power frekuensi.**

Pada sistem distribusi hal ini biasanya disebabkan oleh kesalahan pada AVR atau pengatur tap pada trafo distribusi.

2. **Tegangan lebih surja**

Tegangan lebih surja disebabkan karena adanya gangguan surja petir dan gangguan surja hubung:

- Gangguan surja petir, merupakan gangguan yang sering terjadi pada suatu instalasi listrik. Gangguan ini menyebabkan kenaikan tegangan listrik pada suatu instalasi yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik.
- Gangguan surja hubung, merupakan gangguan yang menyebabkan kenaikan tegangan sistem, yang disebab karena penutupan pemutus tenaga (PMT) saluran tiga fasa yang tidak serempak, penutupan kembali saluran dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk sistem menjadi masuk sistem, dan sebagainya.

1.2. Bahaya Non Listrik

a. Paparan Sinar Matahari

Sistem fotovoltaik terpasang dimana sinar matahari memiliki pancaran yang terang dan tidak ada bayangan dari lingkungan, saat bekerja pada sistem fotovoltaik, harus menggunakan topi, dan diusahakan menutup seluruh bagian tubuh. Pada musim panas banyaklah minum air putih untuk mencegah dehidrasi. Beristirahat dan berlindung dibawah bayangan untuk beberapa menit setiap jamnya.

b. Gigitan Serangga, Ular dan Binatang Berbisa Lainnya

Laba-laba, lebah dan serangga lainnya terkadang masuk dan tinggal di *junction box*/ *combiner box* pada sistem PLTS. Bebrapa tipe lebah pembangun rumah/sarang di rangka larik modul PLTS. Ular menggunakan bayangan yang disediakan oleh *array*/larik PV untuk berlindung dari terik matahari. Semut dapat ditemui di bawah array atau dekat dengan kotak penyimpanan baterai. Selalu siaga untuk hal yang tidak diharapkan saat melakukan pengoperasian dan pemeliharaan PLTS. Lihat dengan seksama sebelum berjalan di bawah larik modul PLTS.

c. Luka Terbuka dan Benturan

Sebagian besar sistem larik PLTS mengandung rangka besi, *combiner box*, *junction box*, mur baut, *guy wear*, *anchor bolts*, dan lain-lain. Banyak dari hal-hal ini memiliki sisi yang tajam dan dapat menyebabkan luka jika tidak hati-hati. Gunakan sarung pengaman saat memegang benda yang terbuat dari logam. Gunakan topi keras dielektrik saat bekerja di bawah larik PV.

d. Luka Jatuh, Otot Tertarik/Robek

Banyak sistem PV dipasang pada area terpencil dengan permukaan yang kasar berjalan menuju dan ke sekitar lokasi PV, terutama saat membawa material atau peralatan tes dapat menyebabkan jatuh atau otot tertarik/robek. Gunakan sepatu yang nyaman dengan sol yang lunak. Sepatu dengan pengaman besi tidak dianjurkan, karena akan mengurangi tahanan bila ada arus mengalir.

e. Luka Bakar (Karena Panas dan Asam)

Metal yang terkena sinar matahari dapat mencapai suhu 80^0 Celcius. Ini terlalu panas untuk dipegang dan dapat menyebabkan luka bakar jika dipegang dalam waktu lama. Sebagian besar sistem PLTS

memiliki baterai. Sebagian besar baterai adalah dari tipe *lead acid* dan asam hidroklorida merupakan sumber bahaya. Kebakaran akibat zat kimia dapat terjadi jika asam terkena bagian tubuh yang terbuka, mata adalah bagian yang paling rawan apabila terkena asam. Bila bekerja sekitar baterai *lead acid* harus menggunakan sarung tangan yang tidak menyerap air, dan pelindung mata.

f. Bahaya B3

Baterai adalah komponen PLTS yang mengandung limbah B3. Tiap sistem dengan baterai adalah sumber bahaya. Hal yang menjadi perhatian adalah:

a. *Electrical Burn*, menghubung singkatkan terminal dari baterai yang mungkin ditemukan pada sistem PV dapat menyebabkan arus melebihi 6000 Ampere selama beberapa detik. Luka bakar serius bahkan kematian dapat terjadi walaupun tegangan rendah.
b. *Acid burn*, tiap cairan asam baterai dapat menyebabkan luka bakar jika terkena dengan kulit. Jika terkena mata dapat menyebabkan kebutaan.
c. *Gas explotion or fire*, sebagian besar baterai yang digunakan di PV melepaskan hidrogen senagai akibat pengisian baterai. Gas yang mudah terbakar ini adalah sumber bahaya dan seluruh bahan yang mudah terbakar dan peralatan yang dapat menyebabkan percikan api, seperti kontroler dengan relay harus dijauhkan dari baterai. Baterai harus diletakkan pada area dengan ventilasi yang bagus.

2. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PADA SISTEM PLTS

Dasar-dasar keselamatan kerja yang ada di Indonesia antara lain telah diatur dalam Undang-Undang RI Nomor 1 Tahun 1970. Tindakan keselamatan kerja bertujuan untuk menjamin keutuhan dan kesempurnaan, baik jasmani maupun rohani manusia, serta hasil kerja dan budaya tertuju pada kesejahteraan masyarakat pada umumnya.

Keselamatan kerja manusia secara terperinci antara lain meliputi:

- pencegahan terjadinya kecelakaan,
- mencegah dan atau mengurangi terjadinya penyakit akibat pekerjaan,
- mencegah dan atau mengurangi cacat tetap,
- mencegah dan atau mengurangi kematian, dan
- mengamankan material, konstruksi, pemeliharaan, yang kesemuanya itu menuju pada peningkatan taraf hidup dan kesejahteraan umat manusia.

2.1. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat Pelindung Diri (APD) atau *Personal Protective Equipment* adalah alat-alat atau perlengkapan yang wajib digunakan untuk melindungi dan menjaga keselamatan pekerja saat melakukan pekerjaan yang memiliki potensi bahaya atau resiko kecelakaan kerja. Alat-alat Pelindung Diri (APD) yang digunakan harus sesuai dengan potensi bahaya dan resiko pekerjaannya sehingga efektif melindungi pekerja sebagai penggunanya.

Alat Pelindung Diri (APD) dapat dibagi menjadi 3 kelompok yaitu :

1. Alat Pelindung Kepala
   antara lain :
   a. Topi Pelindung (Safety Helmet)
      Helmet atau Topi Pelindung digunakan untuk melindungi Kepala dari paparan bahaya seperti kejatuhan benda ataupun paparan bahaya aliran listrik. Pemakaian Topi Pelindung (Safety Helmet) harus sesuai dengan lingkar kepala sehingga nyaman dan efektif melindungi pemakainya. Di Produksi Elektronika, Topi pelindung biasanya digunakan oleh Teknisi Mesin dan Petugas Gudang.

      Terdapat 3 Jenis Helmet berdasarkan perlindungannya terhadap listrik, yaitu:
      1. Helmet Tipe General (G) yang dapat melindungi kepala dari terbentur dan kejatuhan benda serta mengurangi paparan bahaya aliran listrik yang bertegangan rendah hingga 2.200 Volt
      2. Helmet Tipe Electrical (E) yang dapat melindungi kepala dari terbentur dan kejatuhan benda serta mengurangi paparan bahaya aliran listrik yang bertegangan tinggi hingga 22.000 Volt
      3. Helmet Tipe Conductive (C) yang hanya dapat melindungi kepala dari terbentur dan kejatuhan benda tetapi tidak melindungi kepala dari paparan bahaya aliran listrik.

Gambar 5. Contoh Topi Pelindung Tipe E

b. Kacamata Pelindung (Safety Glass)

Kacamata Pelindung adalah alat yang digunakan untuk melindungi mata dari bahaya loncatan benda tajam, debu, partikel-partikel kecil, mengurangi sinar yang menyilaukan serta percikan bahan kimia.

Kacamata Pelindung terdiri dari 2 Jenis yaitu :

1. *Safety Spectacles*, berbentuk Kacamata biasa dan hanya dapat melindungi mata dari bahaya loncatan benda tajam, debu, partikel-partikel kecil dan mengurangi sinar yang menyilaukan. Biasanya dipakai pada Proses menyolder dan Proses pemotongan Kaki Komponen.
2. *Safety Goggles*, Kacamata yang bentuknya menempel tepat pada muka. Dengan Safety Goggles, mata dapat terlindung dari bahaya percikan bahan kimia, asap, uap, debu dan loncatan benda tajam.

Gambar 6. *Safety Spectacles*

Gambar 7. *Safety Goggles*

c. Penyumbat Telinga (*Ear Plug*)

Penyumbat Telinga atau Ear Plug digunakan untuk melindungi alat pendengaran yaitu telinga dari Intensitas Suara yang tinggi. Dengan menggunakan Ear Plug, Intensitas Suara dapat dikurangi hingga 10 ~ 15 dB. Ear Plug biasanya digunakan oleh Pekerja yang bekerja di daerah produksi yang memiliki suara mesin tinggi seperti SMT (*Surface Mount Technology*) ataupun Mesin Produksi lainnya.

d. Penutup Telinga (*Ear Muff*)

Penutup Telinga atau *Ear Muff* adalah alat yang digunakan untuk melindungi alat pendengaran dari Intensitas Suara yang tinggi. *Ear Muff* dapat mengurangi intensitas suara hingga 20 ~ 30dB. *Ear Muff* terdiri dari *Head Band* dan *Ear Cup* yang terbuat dari bantalan busa sehingga dapat melindungi bagian luar telinga (daun telinga). *Ear Muff* sering digunakan oleh Teknisi Mesin dan Generator (Genset).

e. Masker
Masker adalah alat yang digunakan untuk melindungi alat-alat pernafasan seperti Hidung dan Mulut dari resiko bahaya seperti asap solder, debu dan bau bahan kimia yang ringan. Masker biasanya terbuat dari Kain atau Kertas. Masker umumnya dipakai di proses menyolder.

f. Respirator
Respirator adalah alat yang digunakan untuk melindungi alat-alat pernafasan seperti Hidung dan Mulut dari resiko bahaya seperti asap solder, bau bahan kimia, debu, Uap, Gas serta Partikel *Mist* dan Partikel *Fume*. Respirator sering dipakai oleh Teknisi Mesin Solder, Operator Pengecatan (Painting) dan Proses bahan Kimia lainnya.

2. Alat Pelindung Badan
antara lain :
a. Apron (Celemek)
Apron atau sering disebut dengan Celemek adalah alat pelindung tubuh dari percikan bahan kimia dan suhu panas. Apron atau Celemek sering digunakan dalam proses persiapan bahan-bahan kimia dalam produksi seperti Grease, Oli, Minyak dan Adhesive (perekat).

3. Alat Pelindung Anggota Badan
Antara lain : Sepatu Pelindung (Safety Shoes/Boot), Sarung Tangan (Hand Gloves).
a. Sarung Tangan (Hand Glove)
Sarung Tangan adalah perlengkapan yang digunkan untuk melindungi tangan dari kontak bahan kimia, tergores atau lukanya tangan akibat sentuhan dengan benda runcing dan tajam. Sarung Tangan biasanya dipakai pada proses persiapan bahan kimia, pemasangan komponen yang agak tajam, proses pemanasan dan lain sebagainya. Jenis-jenis sarung tangan diantaranya adalah sebagai berikut :
    1. Sarung Tangan Katun (*Cotton Gloves*), digunakan untuk melindungi tangan dari tergores, tersayat dan luka ringan.
    2. Sarung Tangan Kulit (*Leather Gloves*), digunakan untuk melindungi tangan dari tergores, tersayat dan luka ringan.
    3. Sarung Tangan Karet (*Rubber Gloves*), digunakan untuk melindungi tangan dari kontak dengan bahan kimia seperti Oli, Minyak, Perekat dan Grease.
    4. Sarung Tangan Electrical, digunakan untuk melindungi tangan dari kontak dengan arus listrik yang bertegangan rendah sampai tegangan tinggi.

Gambar 8. Sarung Tangan Katun (*Cotton Gloves*)

Gambar 9. Sarung Tangan Kulit (*Leather Gloves*)

Gambar 10. Sarung Tangan Karet (*Rubber Gloves*)

Gambar 11. Sarung Tangan Electrical

b. Sepatu Pelindung (*Safety Shoes*)
Sepatu Pelindung atau *Safety Shoes* adalah perlengkapan yang digunakan untuk melindungi kaki dari kejatuhan benda, benda-benda tajam seperti kaca ataupun potongan baja, larutan kimia dan aliran listrik. Sepatu Pelindung terdiri dari baja diujungnya dengan dibalut oleh karet yang tidak dapat menghantarkan listrik. Sepatu Pelindung wajib digunakan oleh Teknisi Kelistrikan.

Gambar 12. Sepatu Pelindung

Peralatan pelindung diri yang harus disediakan harus disesuaikan dengan kondisi lapangan pada instalasi PLTS yang akan dioperasikan dan dipelihara. Pencegahan dari bahaya listrik dapat dilakukan dengan ketentuan seperti di bawah ini:

1. Sistem keselamatan yang terbaik adalah pikiran yang konsentrasi terhadap pekerjaan. Sifat alamiah *skeptic* dan tindakan yang terukur (tidak terburu-buru).
2. Jangan bekerja pada sistem instalasi PLTS sendirian.
3. Ketahui instalasi PLTS sebelum berkerja. Diskusikan tujuan pengujian dan tekniknya dengan partner kerja. Pelajari diagram kelistrikan dari sistem.
4. Jagalah peralatan pengoperasian dan pemeliharaan selalu dalam kondisi siap. Periksalah peralatan sebelum pergi ke lokasi.
5. Gunakan pakaian yang sesuai. Pakai topi keselamatan listrik yang disertifikasi. Gunakan pelindung mata, terutama jika bekerja dengan baterai. Lepaskan semua perhiasan. Pakai sarung tangan kulit yang kering untuk mengurangi kemungkinan terkena sengatan listrik.
6. Pertama-tama ukurlah konduktivitas dari rangka metal yang terbuka dan *junction box* ke tanah. Ukur tegangan antar seluruh konduktor (pada sirkuit keluaran sistem photovoltaik). Ukur tegangan dan arus kerja. Bekerjalah dengan satu tangan apabila memungkinkan.
7. Bersifatlah *skeptic*. Harapkanlah hal yang tidak diharapkan. Jangan mengasumsikan bahwa saklar selalu bekerja, bahwa konfigurasi sistem sama dengan diagram kelistrikan, bahwa arus tidak mengalir melalui sirkuit pembumian, dll.

2.2. Prosedur Keselamatan

Sebelum melakukan pengoperasian dan pemeliharaan PLTS, Alat Pelindung Diri (APD) harus dikenakan dengan tepat, baik dan benar. Berikut prosedur keselamatan yang harus diikuti dalam pengoperasian sebuah unit PLTS Terpusat.

2.2.1. Keamanan Listrik

Berikut adalah Tindakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja dalam hal Keamanan Listrik untuk pengoperasian sebuah unit PLTS Terpusat :

a. Jangan bekerja sendirian karena dapat terpapar kondisi elektrik berbahaya.
b. Kontak dengan konduktor hidup akan menyebabkan luka bakar dan sengatan listrik yang berbahaya.
c. Pasang peralatan dan *Ground* sesuai dengan instruksi manual.
d. Periksa secara berkala sumber kabel, terminal dan Pastikan selalu dalam keadaan yang baik.
e. Untuk mengurangi resiko dari sengatan listrik, lepaskan semua sumber listrik sebelum menghubungkan/melepaskan baterai atau beban atau ketika membersihkan dan merawat unit ini.
f. Untuk mengurangi risiko sengatan listrik dari muatan yang disimpan pada kapasitor dalam *Inverter*, kapasitor yang diperlukan harus dilepaskan oleh petugas servis.

Instruksi Keselamatan Untuk Instalasi dan Operasi

Berikut adalah Tindakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja dalam hal Instruksi Keselamatan Untuk Instalasi dan Operasi untuk pengoperasian sebuah unit PLTS Terpusat :

a. Sebelum menginstal atau menggunakan unit ini, baca semua petunjuk dan tanda-tanda hati-hati pada *Inverter*, panel PV, kompartemen sistem lain dan semua bagian dari modul ini.
b. Pasang unit ini di daerah suhu dan kelembaban dikontrol dalam ruangan dengan aliran udara yang memadai dan jauh dari partikel kimia atau zat yang mudah terbakar. Hindari memasang unit dekat stasiun radio transmisi, peralatan pembuangan panas dan sinar matahari langsung.
c. Unit ini memiliki *grill* ventilasi. Pastikan ventilasi disediakan dengan cukup. JANGAN menutup *grill* ventilasi. Jarak minimal 50 cm. antara dinding dan unit yang diperlukan.
d. Gunakan alat terisolasi untuk mengurangi risiko sengatan listrik.
e. Lepaskan semua perhiasan atau benda logam lainnya seperti cincin, kalung, gelang dan jam tangan ketika menginstal produk ini.
f. Pasang unit di mana layar LCD mampu dilihat dengan mudah.
g. Pastikan koneksi terminal blok yang benar untuk mencegah terjadinya kerusakan.
h. Jangan menginstal unit ini langsung di atas baterai atau di tempat yang sama dengan pembuangan baterai.
i. Baterai menghasilkan gas, yang korosif terhadap peralatan elektronik.

Instruksi Keselamatan untuk Modul Fotovoltaik

Berikut adalah Tindakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja dalam hal Instruksi Keselamatan untuk Modul Fotovoltaik untuk pengoperasian sebuah unit PLTS Terpusat :

a. Sebelum instalasi, silakan baca buku instruksi atau petunjuk pengguna untuk panel PV dan sistem.
b. Setiap kali PV *Array* terkena sinar matahari, ada bahaya sengatan listrik pada kabel output atau terminal terbuka.
c. Untuk mengurangi risiko sengatan, lepaskan *Array*, atau tutupi dengan kain buram atau materi lain sebelum membuat sambungan listrik atau servis sistem.
d. Pastikan koneksi polaritas yang benar dari panel PV.

Instruksi Keselamatan ketika Bekerja dengan Baterai

Berikut adalah Tindakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja dalam hal Instruksi Keselamatan ketika Bekerja dengan Baterai untuk pengoperasian sebuah unit PLTS Terpusat :

a. Pastikan daerah sekitar baterai berventilasi baik.
b. Jangan merokok atau membiarkan percikan api dekat baterai.
c. Jangan menjatuhkan alat logam ke baterai. Karena ini mungkin mampu memicu korsleting listrik pada baterai atau bagian lainnya yang mampu menyebabkan ledakan.
d. Lepaskan semua item logam, seperti cincin, gelang dan jam tangan ketika bekerja dengan baterai.
e. Bekerjalah dekat dengan seseorang agar jika anda butuh pertolongan bisa segera ada yang membantu Anda ketika Anda sedang bekerja dengan baterai.
f. Pakailah pelindung mata lengkap dan pelindung pakaian. Jangan menyentuh mata Anda saat bekerja di dekat baterai.
g. Jika baterai asam kontak dengan kulit atau pakaian, segera cuci dengan sabun dan air. Jika asam terkena mata Anda, segera basuh dengan air dingin selama minimal 20 menit dan segera periksakan ke medis.
h. Jangan mengisi baterai beku.
i. Ketika menghubungkan baterai, selalu pastikan bahwa polaritas tegangan sudah benar.
j. Selalu mendaur ulang baterai tua. Hubungi pusat daur ulang lokal Anda untuk informasi pembuangan.

2.2.2. Alat Pemadam Kebakaran

Sistem proteksi terhadap kebakaran merupakan salah satu penunjang utama pada sebuah fasilitas pusat listrik, termasuk pusat listrik tenaga surya (PLTS). Tanpa dilengkapi dengan sistem pengaman terhadap bahaya kebakaran, sebuah pusat listrik akan sangat berbahaya. Analogi sederhananya adalah sebagai berikut, sebuah pusat listrik adalah sebuah fasilitas vital yang berkaitan dengan bahan bakar, panas, listrik tegangan tinggi, tekanan yang besar, dll, yang mempunyai potensi bahaya terbakar cukup tinggi. Oleh karena itu, fasilitas perlindungan pertama terhadap potensi tersebut adalah sebuah keharusan.

Alat pemadam api adalah alat perlindungan kebakaran aktif yang digunakan untuk memadamkan api atau mengendalikan kebakaran kecil, umumnya dalam situasi darurat. Pemadam api tidak dirancang untuk digunakan pada kebakaran yang sudah tidak terkontrol, misalnya ketika api sudah membakar langit-langit. Umumnya alat pemadam api terdiri dari sebuah tabung ber tekanan tinggi yang berisi bahan pemadam api.

Jenis-jenis alat pemadam api:

1. Dry Chemical Powder

   Merupakan kombinasi dari fosfat Mono-amonium dan ammonium sulphate. Yang berfungsi mengganggu reaksi kimia yang terjadi pada zona pembakaran, sehingga api padam. Dry Chemical powder juga memiliki titik lebur yang rendah dan pada partikel yang sangat kering serta membengkak untuk membentuk penghalang yang hingga oksigen tidak dapat masuk sehingga dapat menutupi area kebakaran (api), akhirnya api tidak akan menyala dikarenakan pijakannya ditutupi oleh Dry Chemical powder.

   Dry Chemical Powder merupakan:

   - media pemadam api serbaguna, aman dan luas pemakaiannya karena dapat mematikan api kelas A, B, dan C.
   - dapat menahan radiasi panas dengan kabut (serbuk) partikelnya.
   - tidak menghantarkan listrik (Non Konduktif).
   - kimia kering tidak beracun (Non Toxic).
   - tidak berbahaya terhadap tumbuhan, hewan terutama manusia.
   - tabung Pemadam Api adalah salah satu produk yang menggunakan bahan dry chemical powder, karena memiliki tingkat kelas kebakaran A, B, dan C.

2. Carbon Dioxide (CO2)

   CO_2 adalah Senyawa/bahan kimia yang terbentuk dari 1 atom karbon + 2 atom oksigen, yang dapat dihasilkan baik dari kegiatan alamiah maupun kegiatan manusia.

   Jenis ini:

   - Dapat digunakan memadamkan kebakaran kelas B dan C karena merupakan bahan gas, CO_2 tidak merusak, dengan daya guna yang efektif dan bersih.
   - Sangat efisien serta efektif digunakan dalam ruangan seperti kantor, lab dan ruangan lainnya.
   - Carbon Dioxide (CO_2) dapat menyerap panas dan sekaligus mendinginkan.
   - Konstruksi tabung dirancang khusus untuk menahan tekanan tinggi dan dilengkapi dengan selang yang panjang dengan nozzle yang berbentuk corong.
   - Tidak berbahaya terhadap tumbuhan dan hewan.
   - Suhu yang rendah (-50^{o}C) mungkin membekukan urat dan saraf manusia. Maupun manusia yang terjangkit penyakit seperti asma, akan lemas oleh CO_2.

   Pemadam jenis ini sangat cocok untuk memadamkan api yang terjadi akibat korsleting listrik, karena bersih dan aman untuk alat listrik khususnya.

3. Foam AFFF (*Aqueous Film Forming Foam*)
   Foam AFFF (*Aqueous Film Forming Foam*) adalah berbasis air dan sering mengandung surfaktan berbasis hidrokarbon seperti sulfat sodium alkyl, fluoro surfactant seperti : fluorotelomers, asam perfluorooktanoat (PFOA), asam perfluorooktanasulfonat (PFOS). Alat ini memiliki kemampuan untuk menyebar di permukaan cairan berbasis hidrokarbon. "Alcohol resistant aqueous film forming foams" (AR AFFF) adalah busa/foam yang tahan terhadap reaksi dari alkohol, dapat membentuk lapisan/segmen pelindung ketika dipakai atau disemprotkan.

   Jenis ini:

   - Dapat digunakan untuk memadamkan api kelas A namun sangat cocok bila digunakan untuk kelas B.
   - Bersifat Konduktif (Penghantar Listrik). Tidak dapat dipakai untuk memadamkan api kelas C.
   - Foam bersifat ringan, sangat efektif untuk memadamkan zat cair, mudah terbakar dengan cara mengisolasi oksigen serta menutupi permukaan zat cair untuk menghindari api yang dapat menjalar (meluas) kembali.
   - Tidak berbahaya terhadap tumbuhan maupun hewan terutama manusia.
   - Foam adalah bahan yang menangkis untuk menutup permukaan pangkal api, sehingga letupan dapat dielakkan.

4. Gas Pengganti Hallon Non CFC (HCFC-141B)
   Gas Pengganti Hallon/ HCFC-141b atau biasa disebut "Gas Clean Agent" adalah senyawa kimia yaitu hydrochlorofluorocarbon (HCFC). Merupakan senyawa dari 1,1-dichloro-1-fluoroethane menurut Chemical Abstracts.

   Jenis ini:
   - Merupakan pemadam api yang bersih dan tidak meninggalkan residu.
   - Sangat efektif untuk digunakan pada semua risiko kelas kebakaran A, B dan C.
   - Tidak menghantarkan listrik (Non Konduktif), sehingga tidak akan menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik dan alat perkantoran modern lainnya.
   - Tidak berbahaya terhadap tumbuhan, hewan terutama manusia.

   Gas pengganti hallon ini berkembang mengikuti zaman, sehingga banyak bermunculan produknya. HCFC-141B adalah salah satu gás pengganti hallon tersebut dan lainnya seperti : FM200, Hallotron dan lainnya dengan kualitas menyerupai Hallon. Hallon dilarang digunakan karena tidak ramah lingkungan merusak lapisan ozon. sebabnya yaitu memiliki CFC yang cukup tinggi dan kemungkinan merusaknya sangat besar. Harga dari Tabung Pemadam Api dengan isi Gas pengganti hallon relatif lebih tinggi dari harga Apar dengan isi yang lainnya karena harus ada lapisan khusus. Gas pengganti hallon sering digunakan di kapal, laboratorium, ruang arsip, ruang data center atau server, pesawat dan tempat dengan elektronik yang cukup banyak. dengan gas ini lebih aman dan bersih untuk alat-alat tersebut, sehingga tidak merusak.

Kelas Kebakaran

Berikut ini adalah tabel kelas kebakaran yang sering terjadi.

Kelas Kebakaran	Media	Dry Chemical Powder	Foam AFFF	Co2	Hcfc-141B
Kelas Kebakaran A	Benda Padat (Kain, Kayu, Kertas)	Ya	Ya	Tidak	Ya
Kelas Kebakaran B	Benda Cair (Minyak, Bensin, Solar)	Ya	Ya	Ya	Ya
Kelas Kebakaran C	Benda Gas(Elpiji, tinner)	Ya	Tidak	Ya	Ya
Kelas Kebakaran D	Logam (magnesium, misiu)	Tidak	Ya	Ya	Ya
Kelas Kebakaran E	Electrikal (Dinamo, Motor Listrik)	Ya	Tidak	Ya	Ya

Cara Menggunakan Alat Pemadam Api

Bahaya kebakaran pada PLTS relatif tidak sebesar pembangkit jenis lain. Pada umumnya PLTS menggunakan alat pemadam api ringan/APAR (*fire extinguisher*) dan alat pemadam api berat (APAB). Alat pemadam umumnya ditempatkan pada tempat-tempat tertentu yang dikhawatirkan jika pemadaman menggunakan air, dapat merusak peralatan, semisal pada ruang panel (*switchgear room*). Jenis media pemadam kebakaran yang umum tersedia di lokasi PLTS adalah jenis serbuk kering atau karbondioksida (CO_2).

Gambar 13. Contoh Alat Pemadam Kebakaran

Cara menggunakan alat pemadam api yang baik dan benar:

1. tabung pemadam api kita ambil pada tempatnya
2. cabut pin pengaman yang terletak di atas valve alat pemadam
3. pegang selang tabung pemadam api pada ujung selang pemadam tersebut
4. tekan tuas alat pemadam api sampai full
5. usahakan berdiri di jarak 3 meter dan perlahan lahan maju hingga api mulai padam
6. arahkan alat pemadam kebakaran pada yang telah ditekan full ke titik api.

setelah itu yang terpenting cukup kita lihat arah mata angin, apinya mengarah atau bertiup ke arah mana. (Kita Harus Berdiri Satu Arah Dengan Arah Angin).

2.2.3. Kotak P3K lengkap

P3K ditunjukkan untuk memberikan pertolongan pertama terhadap kecelakaan sebagai upaya pertolongan awal terhadap penanggulangan kecelakaan, sehingga menangkal serta meminimalkan keparahan atau kerusakan yang terjadi karena kecelakaan kerja.

3. ALAT POTEKSI KELISTRIKAN DI SISTEM INSTALASI PLTS

Pada instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* tentunya terdapat bahaya. Maka perlindungan terhadap bahaya pada instalasi PLTS dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan sebagai berikut:

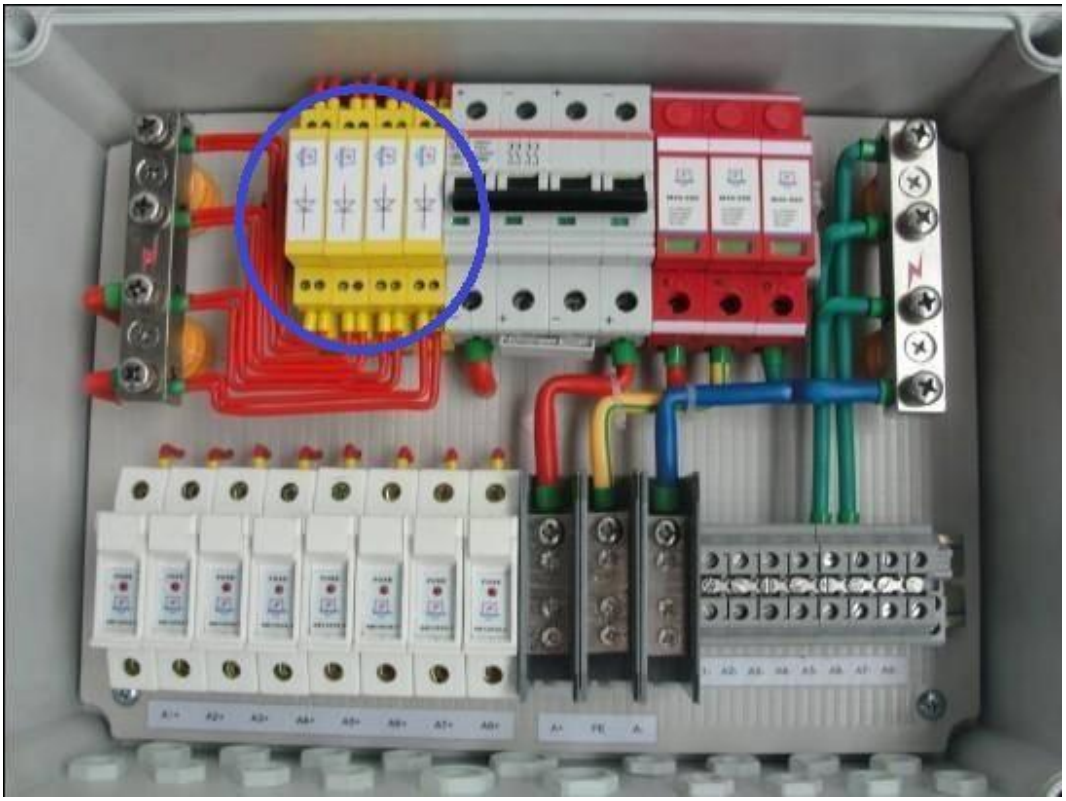
A. Proteksi Pada Instalasi PLTS *off-grid* dan Proteksi Pada Jaringan

Peralatan proteksi pada PLTS bertujuan untuk mengamankan instalasi dari kerusakan yang lebih parah. Peralatan proteksi pada PLTS terdiri dari:

1. Proteksi Arus Balik
2. Proteksi Polaritas Terbalik
3. Prokteksi Arus Lebih (Hubung Singkat dan Beban Lebih)
4. Proteksi Tegangan Lebih

A.1. Proteksi Arus Balik

Pada malam hari, tegangan listrik di modul *photovoltaic* adalah nol, tapi baterai terisi penuh hasil pengisian pada siang hari. Untuk menghindari terjadinya arus balik dari baterai ke modul *photovoltaic* akibat beda tegangan, maka dipasang dioda penghambat atau *blocking diode* pada BCU. Dioda schottky dipasang untuk melakukan fungsi tersebut. Biasanya pada modul *photovoltaic* yang standard juga sudah terpasang dioda penghambat tersebut. *Blocking diode* dapat dilihat pada gambar 14. Di dalam lingkaran yang berwarna biru merupakan *blocking diode*.

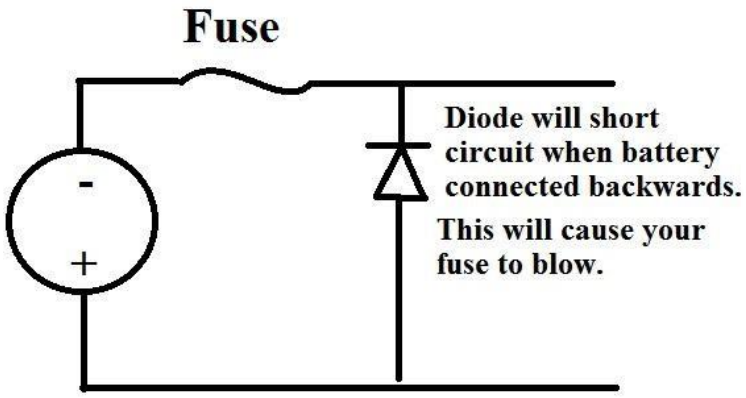


Gambar 14. Blocking Diode di Combiner Box

A.2. Proteksi Polaritas Terbalik

Sebuah *Battery Control Unit* (BCU) atau *Battery Control Regulator* (BCR) atau *Solar Charge Control* (SSC) harus memiliki proteksi terhadap pemasangan polaritas yang terbalik. Pemasangan polaritas kabel yang terbalik dapat terjadi pada modul, baterai, dan beban.

Polaritas terbalik dari baterai, juga akan mengakibatkan arus *short circuit* pada baterai. Arus ini mengalir dari polaritas positif ke terminal negatif baterai melalui 2 dioda yaitu schottky dan dioda internal. Keadaan ini bisa diatasi dengan adanya fuse. Rangkaian proteksi polaritas terbalik dapat dilihat pada gambar 15. Rangkaian proteksi polaritas terbalik terdiri dari diode dan fuse. Apabila terjadi pemasangan dengan polaritas terbalik maka akan terjadi hubung singkat, hubung singkat yang menyebabkan fuse terputus.



Gambar 15. Rangkaian Proteksi Polaritas Terbalik

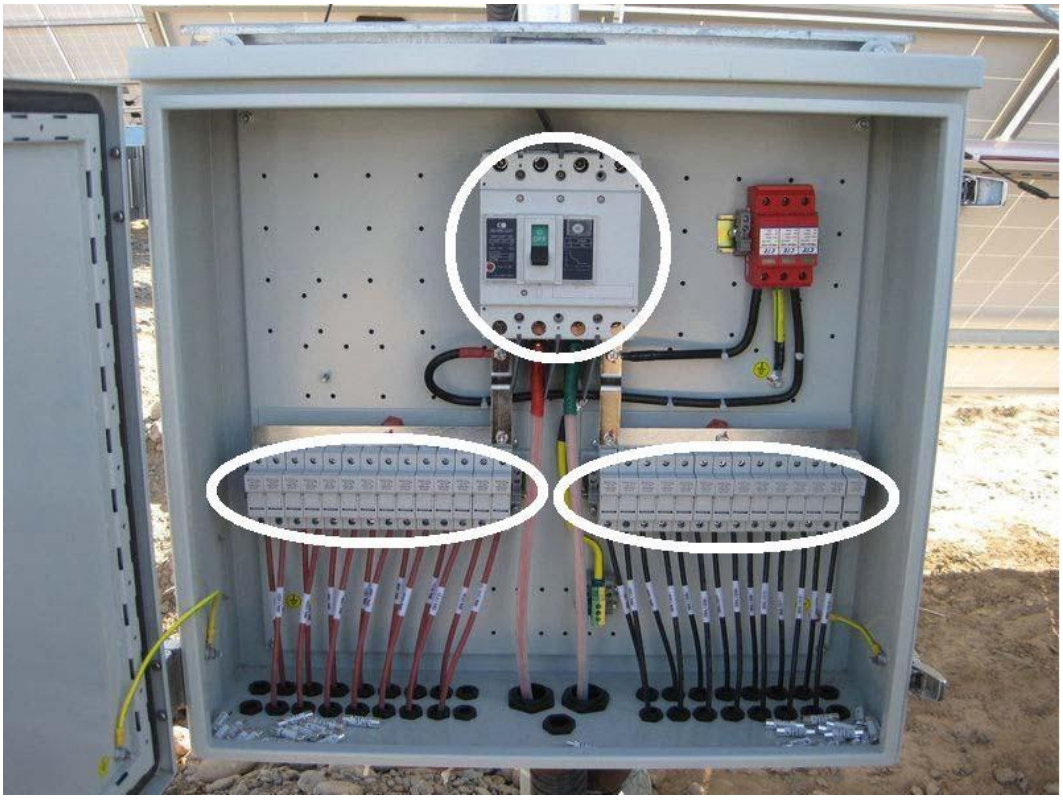
A.3. Proteksi Arus Lebih (Hubung Singkat dan Beban Lebih)

Arus lebih pada sebuah instalasi PLTS *off-grid* dapat terjadi karena adanya hubung singkat maupun beban lebih. Hubung singkat dan beban lebih dapat menimbulkan arus yang besar lebih besar dari arus normal beban penuh. Hubung singkat disebabkan karena terhubungnya secara langsung antara penghantar positif (+) dan penghantar negatif (-) karena terkelupasnya isolasi kabel. Sedangkan beban lebih disebabkan karena ada beban yang besar melebihai kapsitas modul surya, *solar charge control*, inverter, maupun baterai.

Untuk mengatasi adanya arus lebih pada rangkaian, instalasi PLTS *off-grid* dilengkapi dengan fuse (sekering) atau *mini circuit breaker* (MCB). Sekering merupakan kawat yang akan melebur saat terjadi arus lebih. MCB merupakan komponen pemutus arus listrik, yang terdiri dari kumparan elektromagnetik dan bimetal. Ketika terjadi arus lebih MCB akan bekerja dengan membuka kontak, sehingga arus akan berhenti mengalir.

Proteksi arus lebih karena hubung singkat dan beban lebih terdapat pada:

1. *Combiner Box*
2. Panel DC
3. Panel AC



Gambar 16. Proteksi Arus Lebih pada *Combiner Box*

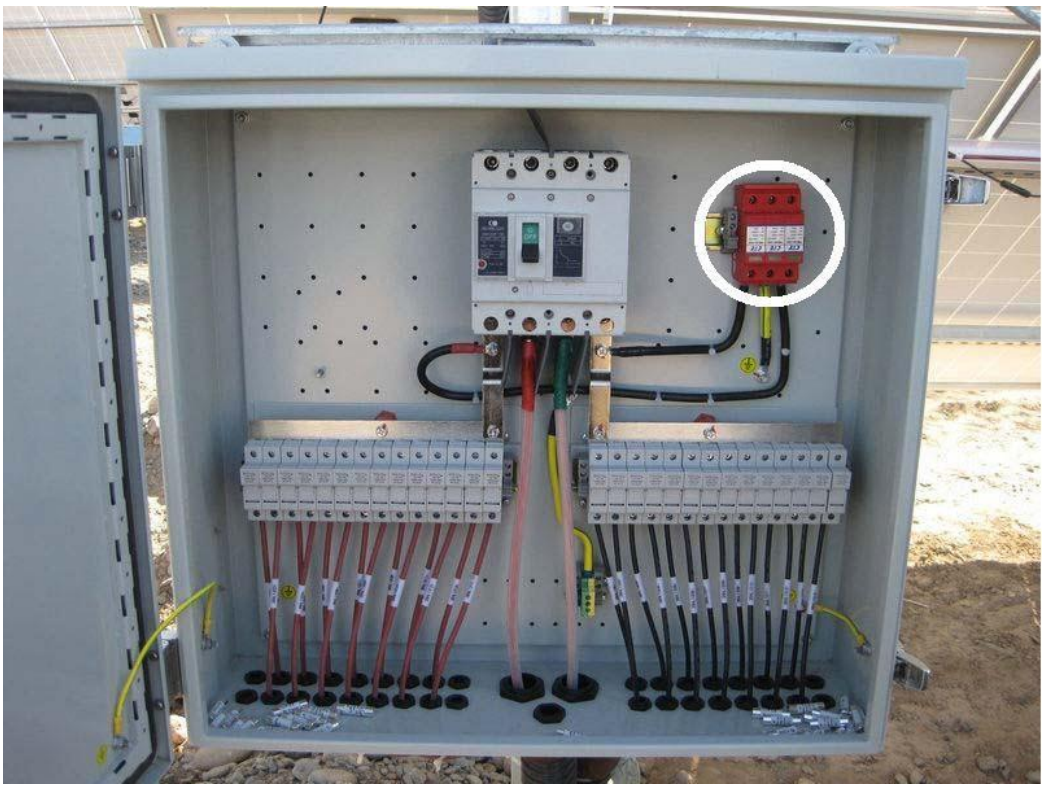
Gambar 16. merupakan rangkaian sebuah *combiner box* PLTS *off-grid*. Pada lingkaran biru bagian atas merupakan MCB utama yang berfungsi sebagai saklar dan proteksi terhadap arus lebih. Lingkaran biru bagian bawah merupakan sekering yang berfungsi untuk proteksi arus lebih pada modul surya.

Gambar 17. Proteksi Arus Lebih pada Panel DC

Gambar 18. Proteksi Arus Lebih pada Panel AC

A.4. Proteksi Tegangan Lebih

Tegangan lebih yang terjadi pada PLTS *off-grid* pada umumnya disebabkan karena adanya petir. Petir menyambar langsung maupun menginduksikan tegangan lebih pada instalasi PLTS *off-grid*. Sesuai dengan standar, bahwa proteksi terhadap tegangan lebih akibat petir pada BCU sangat diperlukan. Mengingat sebagaian instalasi pada PLTS *off-grid* terletak di luar ruangan, sehingga potensi mendapat tegangan lebih akibat petir cukup besar. Petir yang mengenai modul surya pada sistem PLTS *off-grid* dapat merusak komponen lain yang terhubung dengan modul. Tegangan induksi pada kabel dari modul surya yang sangat tinggi dapat menyebabkan kerusakan. Komponen yang dapat meredam tegangan lebih akibat petir adalah *surge arrester*. *Surge arrester* merupakan komponen yang terbuat dari *metal-oxide varistor* (MOV).



Gambar 19. Surge Arrester pada Combiner Box

Pada gambar 19. dapat dilihat sebuah peralatan proteksi terhadap tegangan lebih yang salah satunya disebabkan oleh petir. *Surge arrester* terdiri dari 3 buah terminal: positif (+), negatif (-), dan ground (GND). Terminal positif terhubung dengan terminal positif modul surya. Terminal negatif (-) terhubung dengan terminal negatif modul surya. Terminal ground terhubung dengan sistem pembumian pada PLTS *off-grid*.

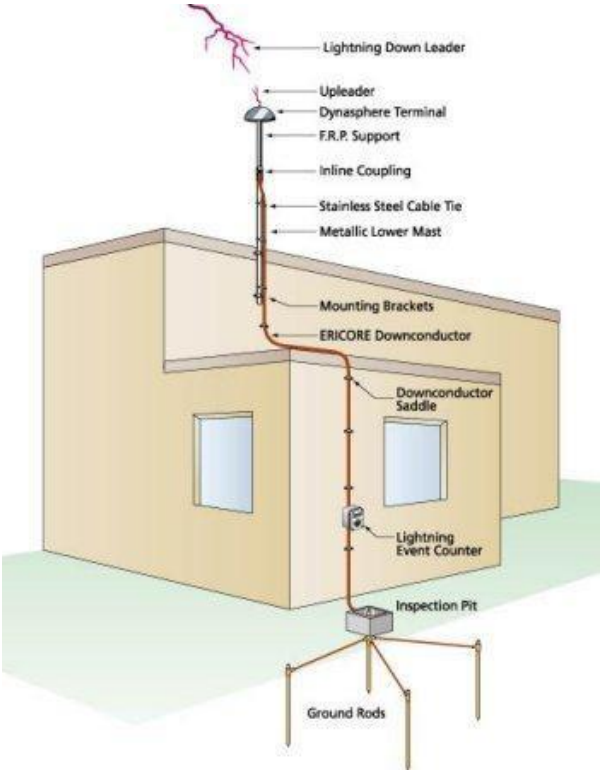
Pada saat tegangan normal, *surge arrester* akan berfungsi sebagai saklar terbuka bagi terminal negatif dan positif terhadap *ground*. Pada saat terjadi tegangan lebih akibat petir maupun karena faktor lain, *surge arrester* akan berfungsi sebagai saklar tertutup bagi terminal negatif dan positif terhadap *ground*. Dengan demikian kelebihan tegangan yang terjadi akan disalurkan dari terminal positif atau negatif ke *ground* atau ke sistem pembumian.

B. Sistem Pembumian

Sistem pembumian pada PLTS *off-grid* berfungsi untuk meneruskan kebocoran dan kelebihan tegangan ke dalam tanah, sehingga peralatan akan kembali normal. Sistem pembumian PLTS *off-grid* akan meneruskan tegangan lebih akibat petir kedalam tanah. Sistem pembumian juga akan menuruskan kebocoran tegangan pada bagian konduktif terbuka, karena kegagalan isolasi kedalam tanah. Sistem pembumian merupak salah satu perlengkapan pelindung bagi instalasi PLTS *off-grid* maupun bagi manusia disekitar instalasi PLTS *off-grid*.
Gambar 20. menunjukan sebuah sistem pembumian untuk penangkap petir.

Sistem pembumian terdiri dari:

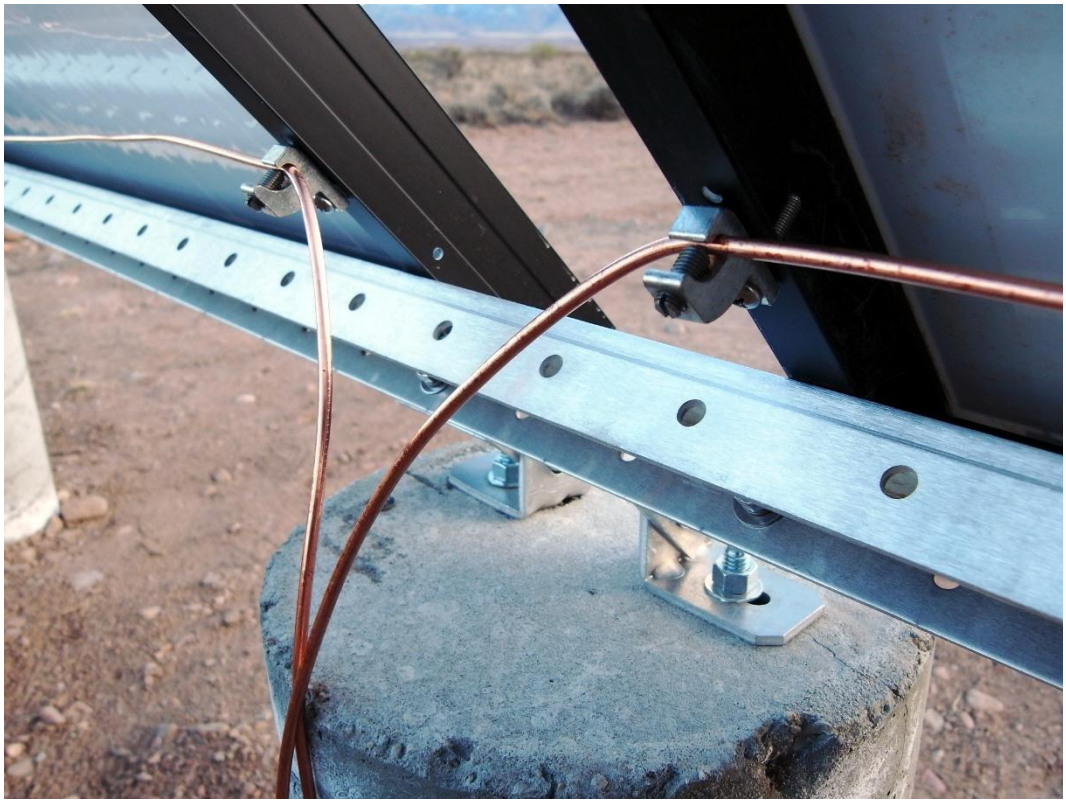
a. peralatan yang dibumikan,
b. penghantar pembumian dan
c. elektroda pembumian (*arde*).



Gambar 20. Sistem Pembumian

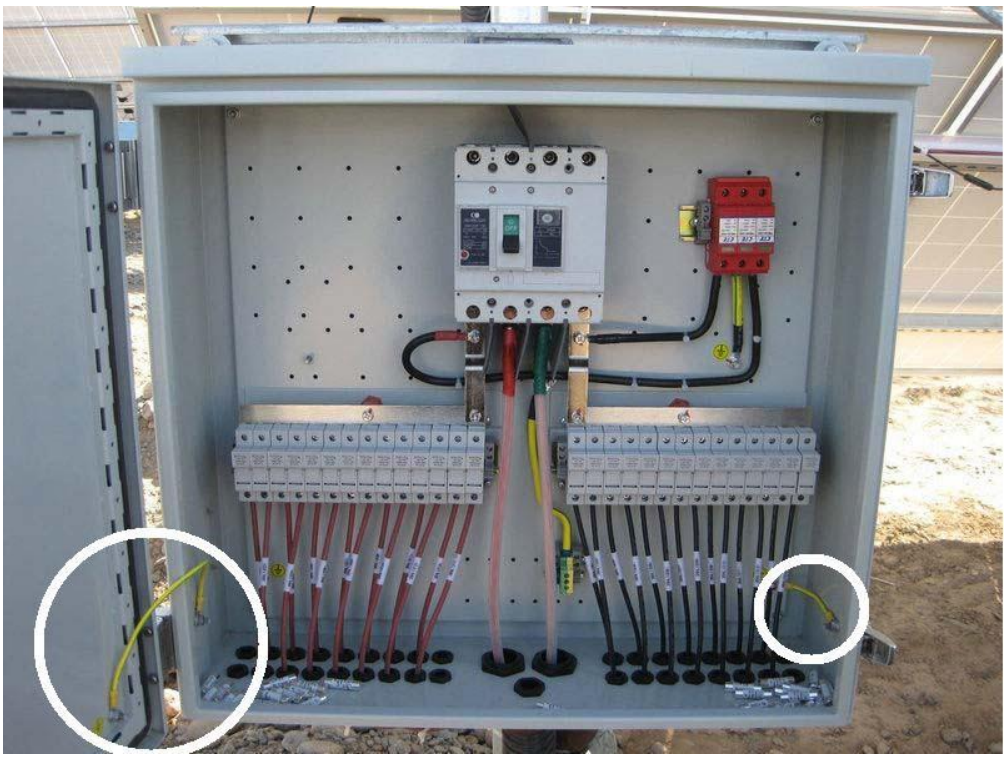
Peralatan yang dibumikan pada suatu instalasi PLTS *off-grid* meliputi, peralatan sebagai berikut:

- pembumian pada modul surya
- pembumian pada kerangka modul surya
- pembumian pada *combiner box*
- pembumian pada *surge arrester*
- pembumian pada *tray cable*
- pembumian pada *solar charge control*
- pembumian pada kerangka baterai
- pembumian pada inverter
- pembumian pada panel AC maupun DC
- pembumian proteksi petir dan surja

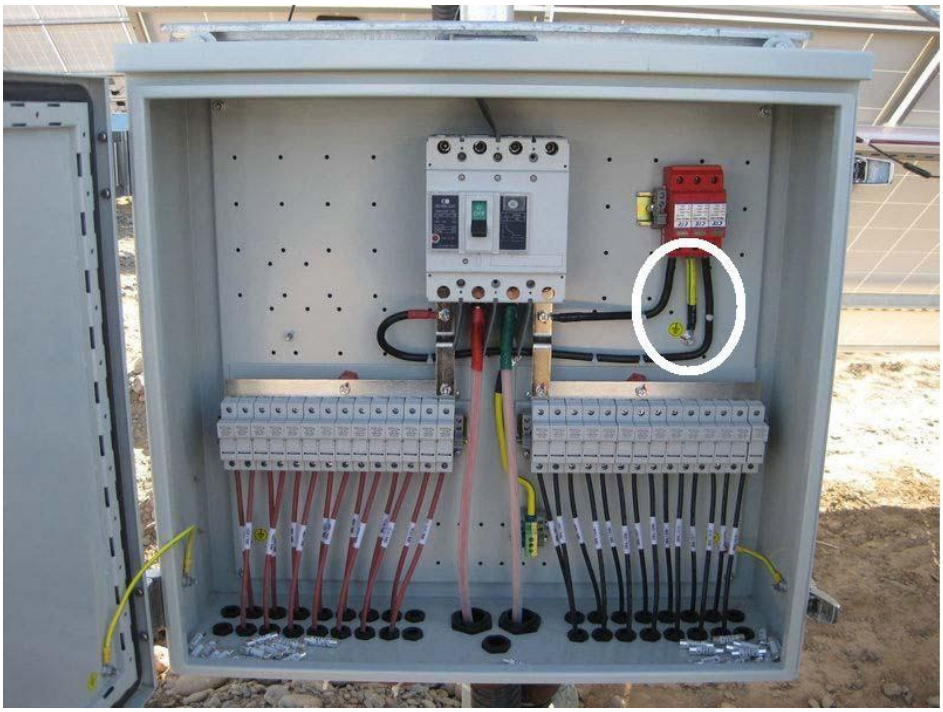


Gambar 21. Pembumian Modul Surya

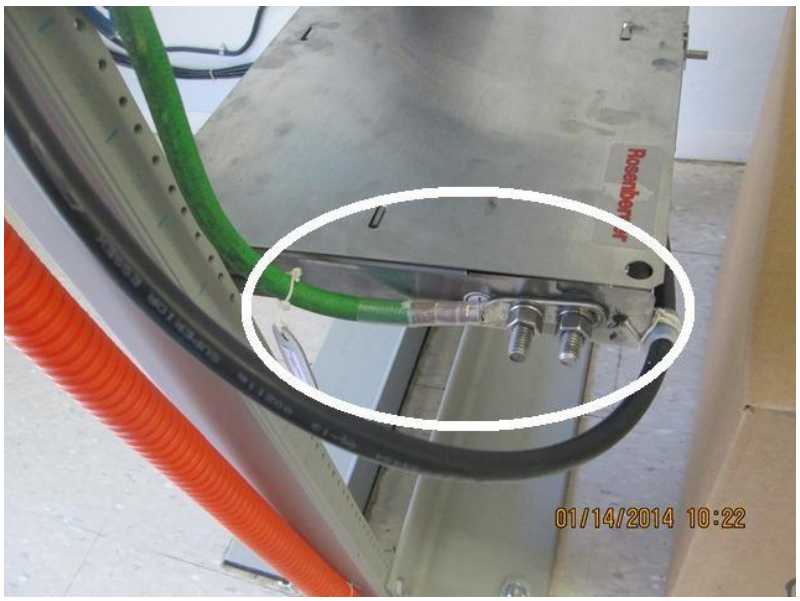
Gambar 22. Pembumian Pada Kerangka Modul Surya



Gambar 23. Pembumian Pada *Combiner Box*



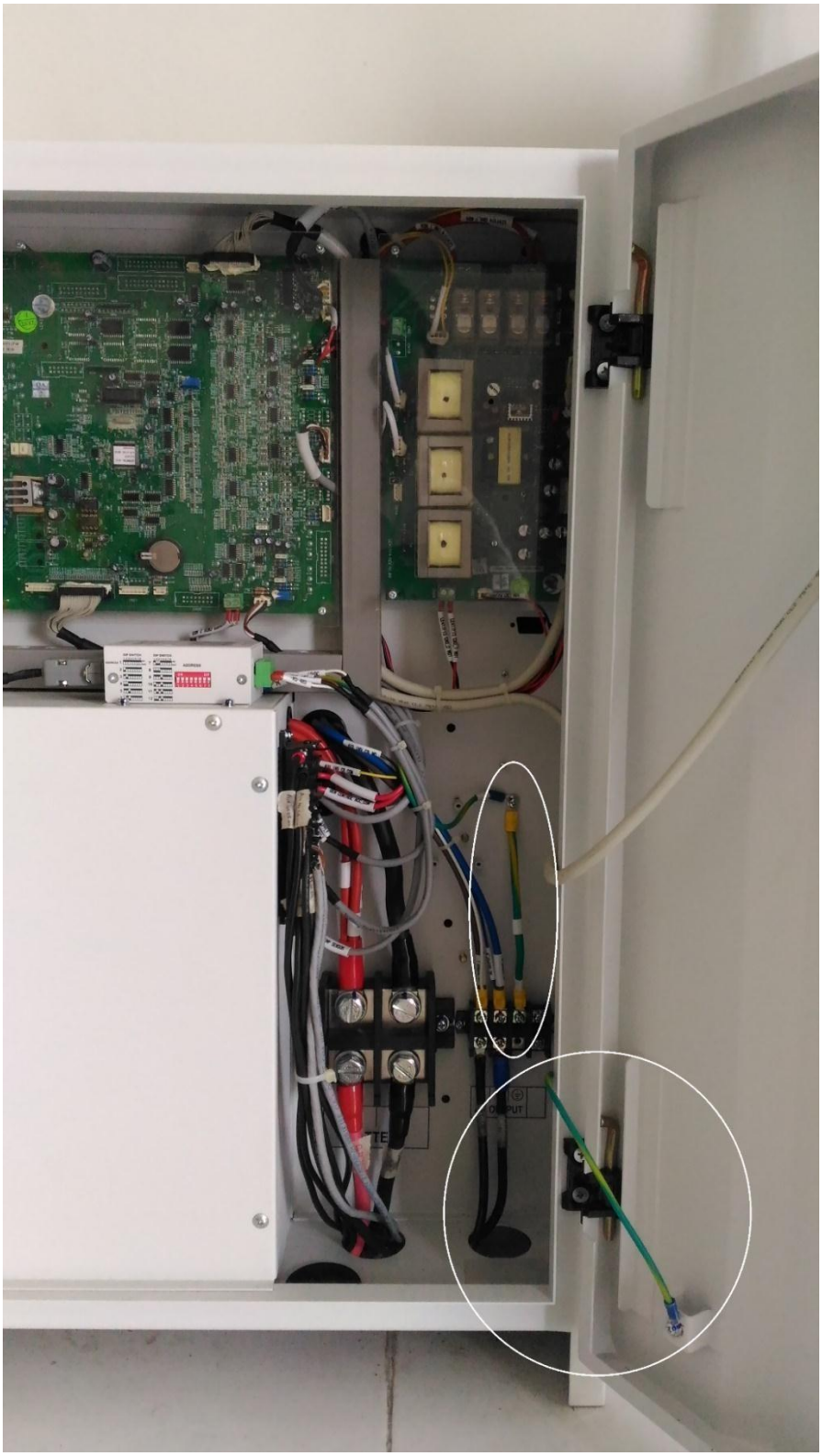
Gambar 24. Pembumian Pada *Surge Arrester*



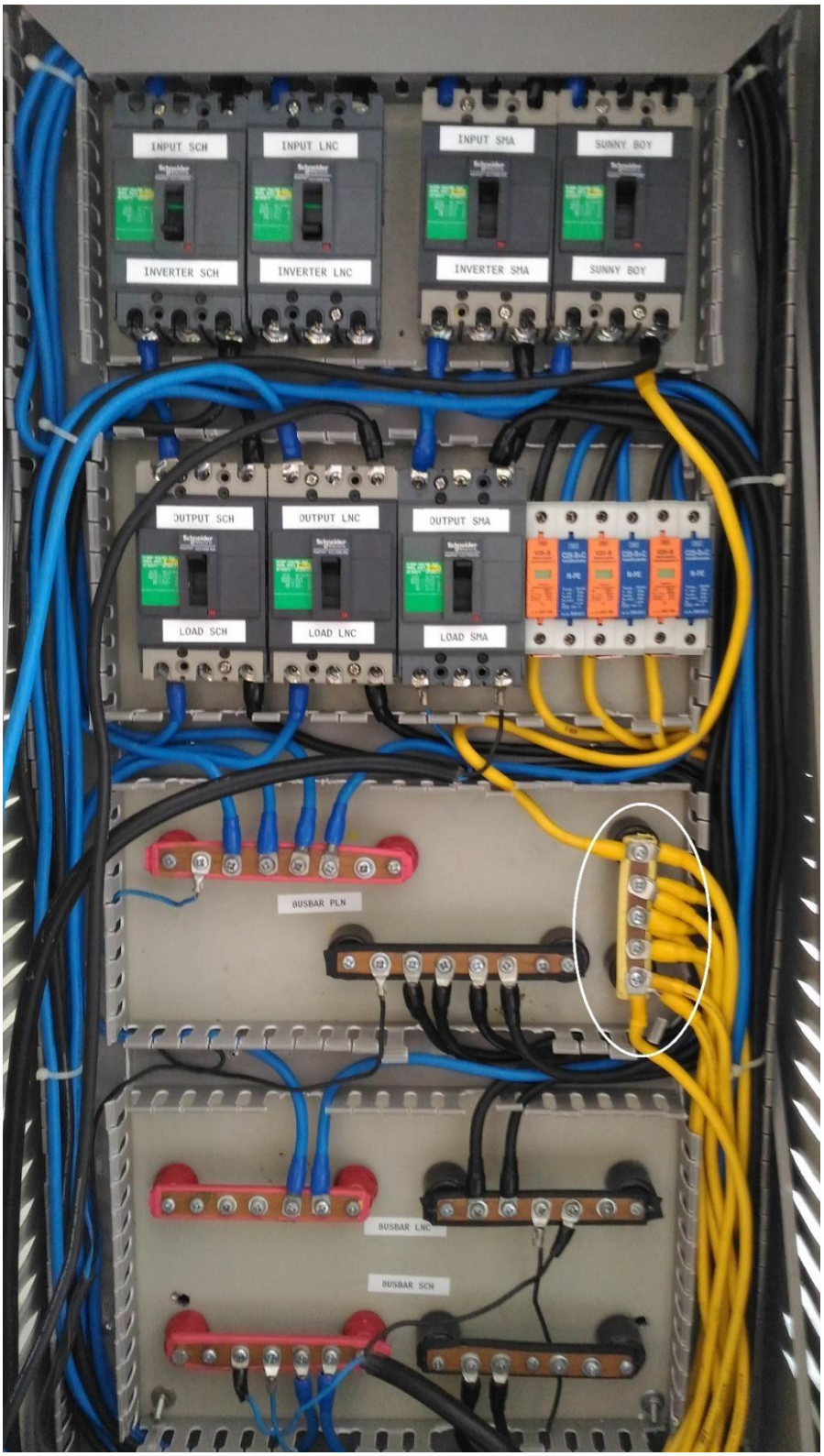
Gambar 25. Pembumian Pada *Tray Cable*

Gambar 26. Contoh Pembumian pada *Solar Charge Control*

Gambar 27. Pembumian Pada Kerangka Baterai



Gambar 28. Contoh Pembumian pada Inverter



Gambar 29. Pembumian Pada Panel AC maupun DC

Gambar 30. Pembumian Proteksi Petir

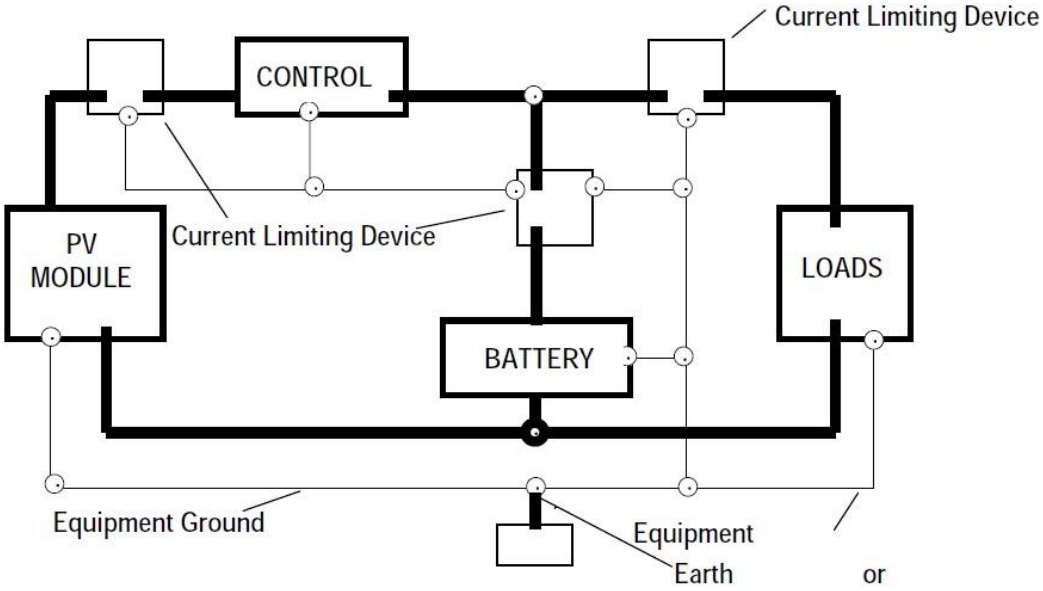
Seluruh sistem PLTS *off-grid* dan ruang kelistrikan harus terproteksi dari petir. Sistem proteksi biasanya berbasis pada awal pita emisi (*early streamer emission*), terminal udara penyambung petir (*lightening conductor air terminals*). Terminal udara akan mampu menangani arus petir berulang dan merupakan instalasi bebas pemeliharaan.

Gambar 31 Proteksi Terhadap Sambaran Petir

Setiap terminal udara ini dihubungkan ke sistem pembumian PLTS *off-grid*. Selanjutnya suatu jaringan pembumian terbentuk, dan menyambungkan seluruh pembumian PLTS *off-grid* melalui pengikat besi galvanis yang disyaratkan.

Skema pembumian pada PLTS berbeda-beda, tergantung pada beberapa faktor:

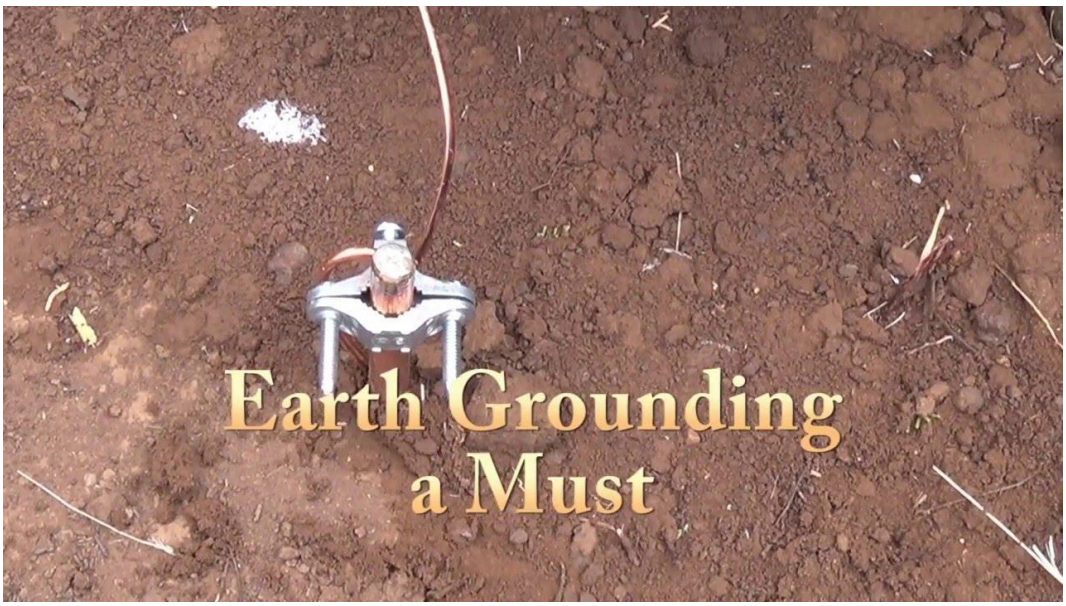
- Syarat kelistrikan National
- Petunjuk instalasi pabrikan
- Syarat pemasangan sistem
- Syarat inverter
- Risiko petir



Gambar 32. Sistem Pembumian PLTS *off-grid*

Walaupun perancang sistem harus menentukan susunan pembumian yang paling cocok untuk PLTS *off-grid*, ada petunjuk umum yang dapat diikuti:

- Batang yang ditanam di tanah (*ground rods*) harus ditempatkan dekat *junction boxes*. Elektroda *ground* harus menghubungkan antara *ground rod* dengan *ground lug* pada *junction box*.
- Jalur lintas pembumian yang tersambung kontinyu harus terjaga di seluruh bagian larik PLTS *off-grid* .
- Lintasan kabel harus dibuat sependek mungkin.
- Peralatan surge suppression dapat dipasang di ujung kabel DC dan pada *junction box array*.
- Kedua sisi inverter harus terisolasi dengan baik sebelum melakukan pekerjaan, dan tanda pengaman (*safety*) yang sesuai harus terpasang sebagai tanda peringatan.
- Banyak model inverter yang mencakup *surge arrestor* internal. Di samping itu, peralatan proteksi surja tambahan yang terpisah akan diperlukan.
- Yang penting, kode dan regulasi nasional, dan karakteristik tertentu setiap proyek PLTS *off-grid* harus dibukukan.

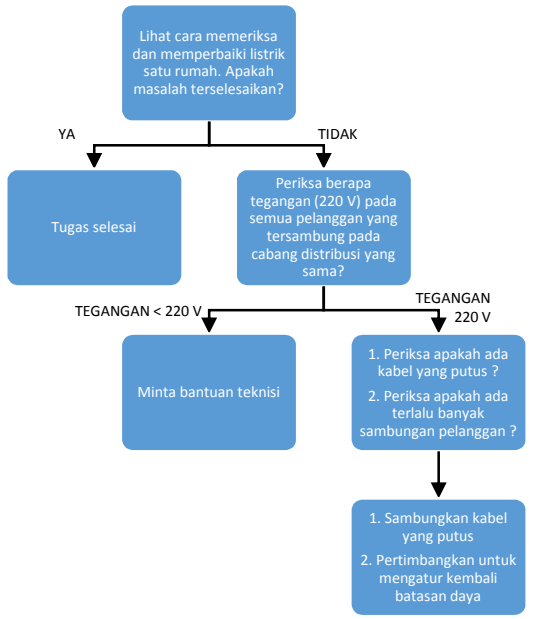


Gambar 33. Elektroda Pembumian

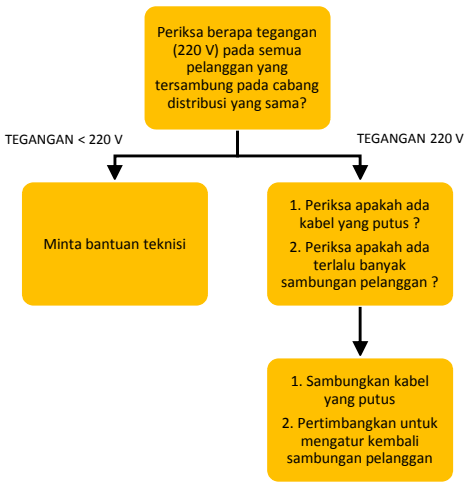
Lampiran 8

Flow Chart Troubleshooting PLTS *Off-Grid*

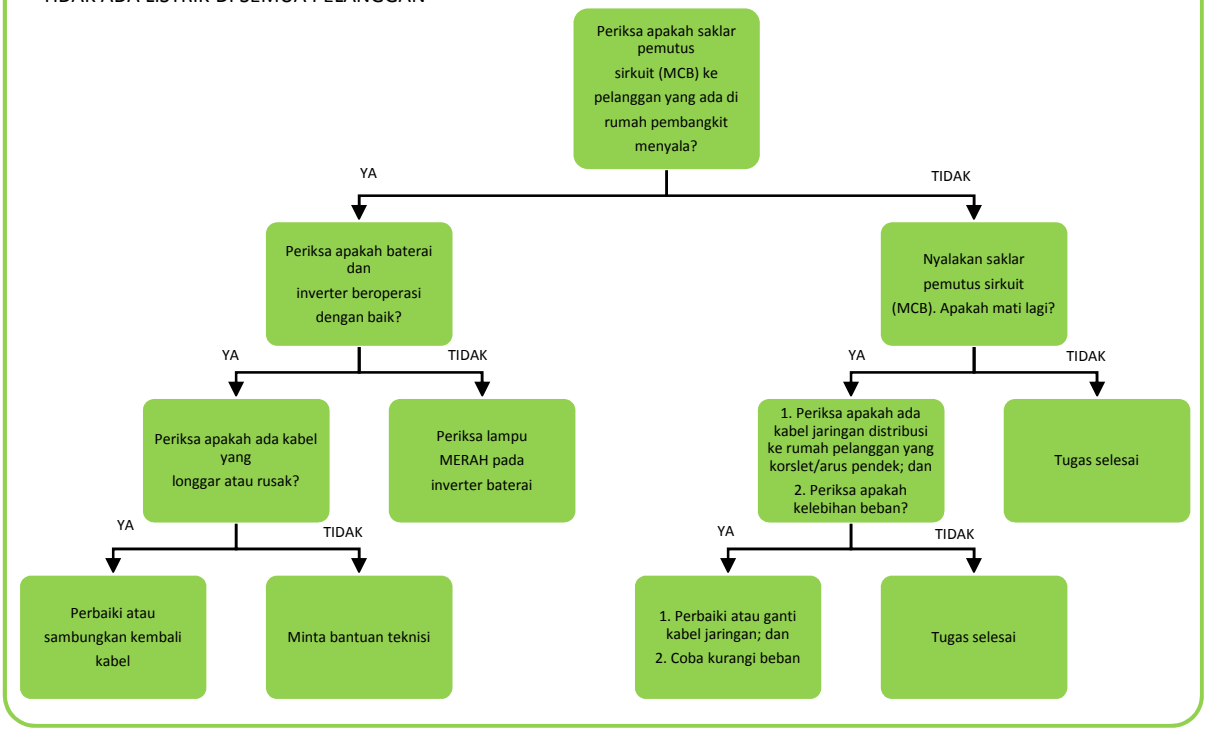
TIDAK ADA LISTRIK DI SATU PELANGGAN



TIDAK ADA LISTRIK DI BEBERAPA PELANGGAN

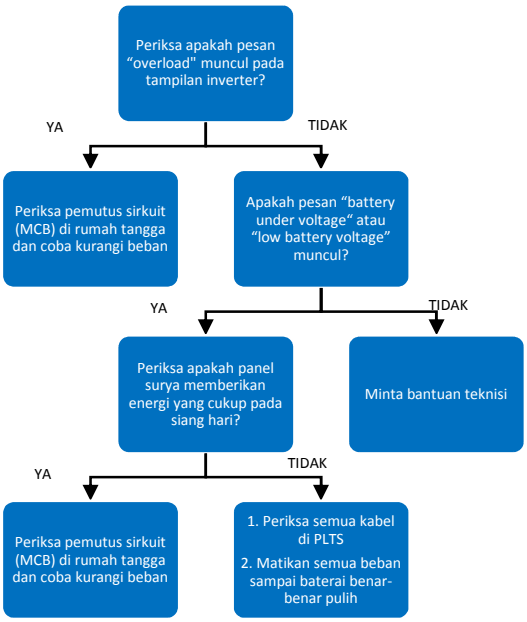


TIDAK ADA LISTRIK DI SEMUA PELANGGAN

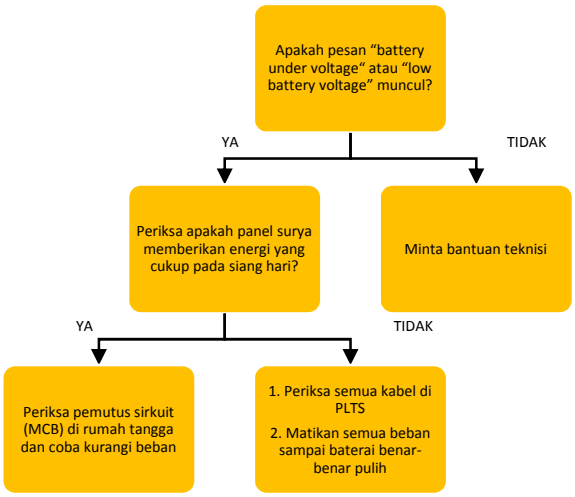


MINTA BANTUAN
Nama Teknisi : _____
Nomor Telepon : _____

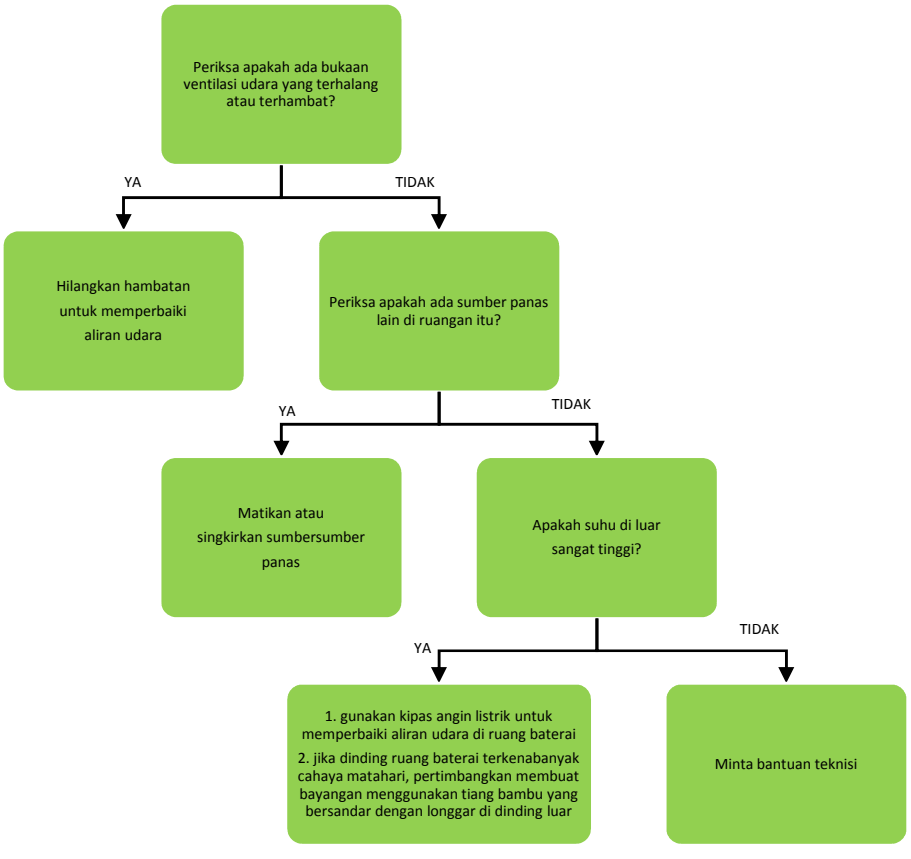
LAMPU MERAH PADA INVERTER



LAMPU MERAH PADA CHARGE CONTROLLER



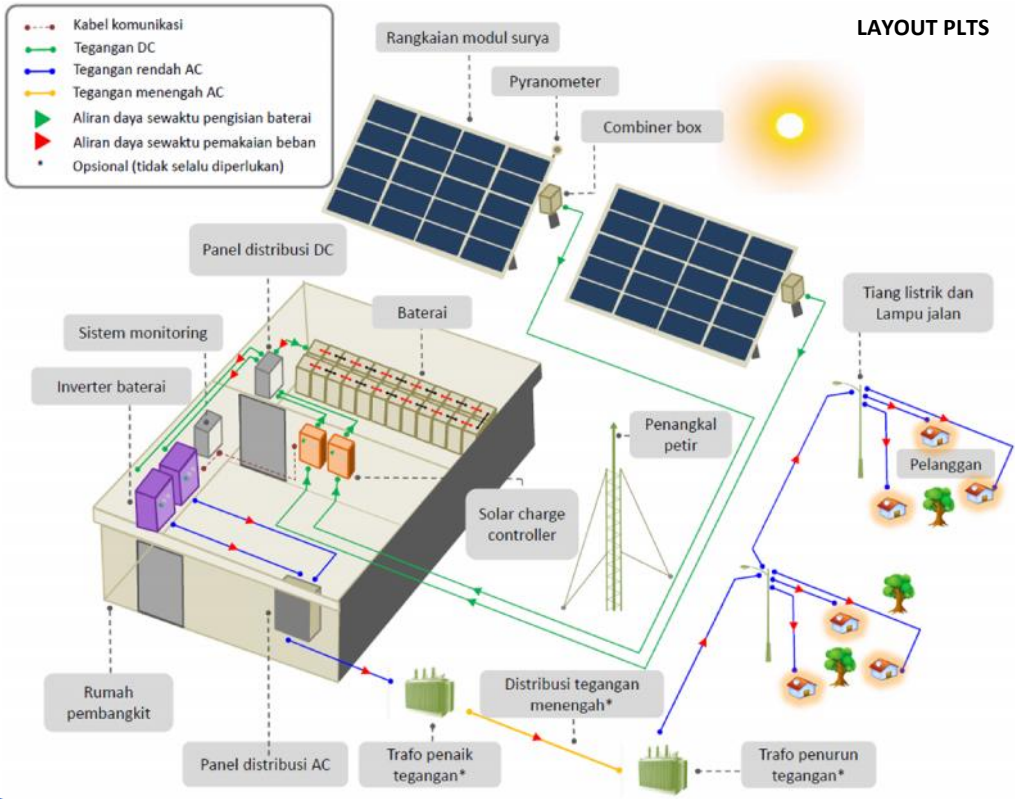
RUANG BATERAI TERLALU PANAS



Catatan: "Tegangan baterai rendah" menunjukkan baterai yang tidak terisi cukup. Pengisian penuh baterai mungkin memakan waktu beberapa hari.

MINTA BANTUAN
Nama Teknisi : _____
Nomor Telepon : _____

LAYOUT PLTS



Cara memeriksa dan memperbaiki listrik di satu rumah

1. Lepas kabel semua alat dan nyalakan saklar pemutus sirkuit (MCB)
2. Periksa tegangan pada sambungan utama
3. Periksa tegangan pada semua stop-kontak
4. Nyalakan alat-alat (satu demi satu)
5. Periksa saklar MCB; jika turun maka alat korslet atau beban terlalu tinggi untuk satu pelanggan
6. Ulangi dari langkah 4, sampai peralatan yang rusak ditemukan atau beban maksimum diketahui

Kode lokasi PLTS:

Operator: _____ HP: _____

Ketua: _____ HP:_ _____

Jumlah sambungan: _____ KK

Kapasitas PLTS: _____ kWp

Total penyimpanan baterai: _____ kWh

Total kapasitas inverter: _____ kW

Tanggal komisioning: _____ /_____ /_____

MINTA BANTUAN
Nama Teknisi : _____
Nomor Telepon : _____

Lampiran 9

Formulir Pencatatan Operasi dan Pemeliharaan/ Pelaporan PLTS *Off-Grid*

PENCATATAN OPERASI DAN PEMELIHARAAN / PELAPORAN PLTS OFF-GRID

Desa

1. IDENTITAS PELAPOR

Nama Pengelola	:	***diisi nama Badan Usaha Milik Daerah (BUMD); atau Badan Usaha Milik Desa (BUMDes); atau Koperasi; dan/atau masyarakat/kelompok masyarakat/swadaya masyarakat.***
Tanggal Pelaporan	:	
Nama pembuat laporan	:	
Nama penanggungjawab	:	Jabatan :
No. Telp./HP./Kontak Penanggungjawab	:	
Nama operator PLTS	:	
No. Telp./HP./Kontak Operator PLTS	:	

2 LOKASI ADMINISTRATIF

a.	Provinsi	:	
b.	Kabupaten / Kota ****	:	
c.	Kecamatan/Distrik ****	:	
d.	Desa / Kelurahan ****	:	
e.	Dusun	:	

3 DATA PLTS

a.	Koordinat *(format derajat desimal *)*	:	Latitude :						
			Longitude :						
b.	Tahun Anggaran	:							
c.	Kapasitas	:	**kWp**						
d.	Alokasi Energi (*energy limiter setting*) saat awal pembangunan	:	**Rumah Tangga** :	**Wh/hari**					
			Fasilitas Umum :	**Wh/hari**					
			Sambungan lainnya *** :	**Wh/hari**					
e.	Total Jumlah Sambungan pada awal pembangunan	:		**sambungan**	sambungan rumah		*Rincian*	Fasilitas umum	:
								Sekolah	:
								Tempat Ibadah	:
								Puskesmas/Pustu	:
								*** lainnya*	:
			Sambungan lainnya ***	:					
f.	Jumlah PJU	:		**unit**					

4 KONDISI UMUM PLTS SAAT INI

a.	Kondisi PLTS	:	***Masih Beroperasi / Tidak Beroperasi*** ****
b.	Status Sambungan	:	Total jumlah sambungan saat ini: **sambungan**

Rincian Sambungan	Jumlah sambungan pada data awal pembangunan	Alokasi energi pada data awal	Jumlah sambungan pada data saat ini	Alokasi energi pada data saat ini
Sambungan Rumah	**0**	**0 Wh/hari**		**Wh/hari**
Fasilitas Umum	**0**	**0 Wh/hari**		**Wh/hari**
Sekolah	**0**	**0 Wh/hari**		**Wh/hari**
Tempat Ibadah	**0**	**0 Wh/hari**		**Wh/hari**
Puskesmas/Pustu	**0**	**0 Wh/hari**		**Wh/hari**
***lainnya*	**0**	**0 Wh/hari**		**Wh/hari**
Sambungan lainnya ***	**0**	**0 Wh/hari**		**Wh/hari**

c. Status Komponen PLTS :

NO.	Komponen	Status		Keterangan
		Berfungsi	Tidak Berfungsi	
1	Modul surya			
2	*Solar Charge Controller / Grid-tied inverter*			
3	*Inverter / Battery Inverter*			
4	Baterai			
5	Penyangga modul surya			
6	*Combiner box*			
7	Sistem monitoring			
8	Panel distribusi			
9	Pengkabelan			
10	Rumah pembangkit			
11	Sistem pentanahan dan Penangkal Petir			
12	Tiang distribusi Tegangan Rendah			
13	Lampu PJU			
14	Energi limiter			

5 LAMPIRAN

Dilampirkan dokumen sebagai berikut:

1 Salinan (fotokopi) formulir daftar pemeriksaan harian PLTS Fotovoltaik *off-grid*
2 Salinan (fotokopi) formulir daftar pemeriksaan mingguan PLTS Fotovoltaik *off-grid*
3 Salinan (fotokopi) formulir daftar pemeriksaan bulanan PLTS Fotovoltaik *off-grid*
4 Salinan (fotokopi) formulir daftar pemeriksaan 6 bulanan PLTS Fotovoltaik *off-grid*

***** *Dituliskan berdasarkan data awal saat pembangunan. Lengkapi dengan arah lintang dan bujur.*
Contoh penulisan dalam satuan derajat desimal: [Latitude: **6.197626° LS** | Longitude: **106.841072° BT**]

****** *Diisi jika ada. Tambahkan keterangan seperti: pelabuhan/dermaga,dll.*

******* *Diisi jika ada. Tambahkan keterangan seperti: kegiatan produktif, dll.*

******** *Coret yang tidak perlu*

(di isi nama desa) , *(di isi tanggal pelaporan)*

Pembuat Laporan,

Mengetahui,
Penanggungjawab,

KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
REPUBLIK INDONESIA

DIREKTORAT JENDERAL ENERGI BARU, TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI

Alamat :
Jalan Pegangsaan Timur No. 1
Menteng, Jakarta Pusat

Telephone :
021-3983007

Fax :
021-31901087

Email :
info@ebtke.esdm.go.id